

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/05864

## Box I Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:  
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
2. ☐ Claims Nos.:  
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
3. ☐ Claims Nos.:  
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

## Box II Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

An invention that "a dynamic spectrum equalizer comprising a lattice (23, 24) (spectroscope) being a spectrum dispersion element disposed on the light path of an incident light, a lens (22) disposed on a light axis (25) parallel to the propagation direction of a light beam (26), and a plane reflector (SLM11) (liquid crystal light switch) for modulating an incident light beam by means of the lens (22) (lens system) and PDL (9) disposed as described in Figs. 3 & 4 and described in Fig. 5, wherein two different wavelengths  $\lambda_i$  and  $\lambda_j$  reach the above plane reflector (SLM11) in different spatial areas to be modulated" is described in Patent Laid-Open No. 2002-214591, (continued to extra sheet)

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

# Best Available Copy

4. ☒ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.: 1

Remark on Protest ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.  
☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/05864

Continuation of Box No.II of continuation of first sheet(1)

and an invention that " a multi-frequency communication system-use frequency selection optical switch which allows a segmented modulator to separately operate frequency components obtained by spatially separating an input signal (page 5-page 7), and which comprises an input frequency diverging medium (spectroscope) such as a diffraction lattice (12) for splitting a wide-band input beam (10) in a vertical direction in Fig. 1 to form a plurality of frequency-separated input beams (14, 16), liquid crystal segments (20, 22) disposed in a vertical direction in Fig. 1, for receiving a beam (14 or 16), and an incident lens (18) (lens system), wherein the above liquid crystal segments (20, 22) linearly rotate the polarization of input beams (14, 16) by 90 ° or do not rotate the input beams (14, 16) before passing them (page 8-page 9, Fig.1)" is described in Patent Publication No. Hei 8-510564, therefore, the invention in claim 1 and the invention in claim 2 are respectively obvious ones as seen from the inventions in Patent-Laid Open No. 2002-214591 and Patent Publication No. Hei 8-510564 and do not contribute to the prior art.

There is no technical relationship, among respective inventions in claim 1, claim 2, claim 3, claims 4-8, 10, claim 5, claims 9, 11, involving one or more of the same or corresponding "special technical features" within the meaning of PCT Rule 13.2, second sentence, therefore they do not fulfill the requirement of unity of invention.

Accordingly, the number of inventions in this application is six.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/05864

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
Int.Cl<sup>7</sup> G02F1/13

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
Int.Cl<sup>7</sup> G02F1/13Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched  
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2003  
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2003 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2003

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P, X	JP 2002-214591 A (Alcatel), 31 July, 2002 (31.07.02), Full text; all drawings & EP 1207418 A1 & US 4193691 A & US 2002/0080466 A1	1
X	JP 8-510564 A (Bell Communications Research, Inc.), 05 November, 1996 (05.11.96), Full text; all drawings & WO 94/28456 A1 & US 5414541 A & US 5414540 A	1

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.
 ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search  
30 July, 2003 (30.07.03)Date of mailing of the international search report  
12 August, 2003 (12.08.03)Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/05864

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 8-5976 A (Nippon Telegraph And Telephone Corp.), 12 January, 1996 (12.01.96), Full text; all drawings (Family: none)	1
X	JP 8-5977 A (Nippon Telegraph And Telephone Corp.), 12 January, 1996 (12.01.96), Full text; all drawings (Family: none)	1
X	JP 9-33878 A (Nippon Telegraph And Telephone Corp.), 07 February, 1997 (07.02.97), Full text; all drawings (Family: none)	1
A	JP 2001-188023 A (Yokogawa Electric Corp.), 10 July, 2001 (10.07.01), Full text; all drawings (Family: none)	1

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> G02F1/13

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> G02F1/13

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公案 1922-1996年

日本国公開実用新案公報 1971-2003年

日本国登録実用新案公報 1994-2003年

日本国実用新案登録公報 1996-2003年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
PX	JP 2002-214591 A (アルカテル) 2002. 07. 31, 全文, 全図 & EP 1207418 A1 & US 4193691 A & US 2002/0080466 A1	1

☒ C欄の続きにも文献が列举されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&amp;」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

30. 07. 03.

国際調査報告の発送日

12.08.03.

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

小 牧 修

2X

8004

電話番号 03-3581-1101 内線 3293

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> G02F1/13

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> G02F1/13

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公案 1922-1996年

日本国公開実用新案公報 1971-2003年

日本国登録実用新案公報 1994-2003年

日本国実用新案登録公報 1996-2003年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
PX	JP 2002-214591 A (アルカテル) 2002. 07. 31, 全文, 全図 & EP 1207418 A1 & US 4193691 A & US 2002/0080466 A1	1

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&amp;」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

30. 07. 03

国際調査報告の発送日

12.08.03

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

小 牧 修

2X

8004

電話番号 03-3581-1101 内線 3293

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	JP 8-510564 A (ベル コミュニケーションズ リサ ーチ, インコーポレイテッド) 1996. 11. 05, 全文, 全図 & WO 94/28456 A1 & US 5414541 A & US 5414540 A	1
X	JP 8-5976 A (日本電信電話株式会社) 1996. 01. 12, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1
X	JP 8-5977 A (日本電信電話株式会社) 1996. 01. 12, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1
X	JP 9-33878 A (日本電信電話株式会社) 1997. 02. 07, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1
A	JP 2001-188023 A (横河電機株式会社) 2001. 07. 10, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1

## 第I欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見 (第1ページの2の続き)

法第8条第3項 (PCT17条(2)(a)) の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☐ 請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。つまり、
2. ☐ 請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3. ☐ 請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

## 第II欄 発明の単一性が欠如しているときの意見 (第1ページの3の続き)

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるとこの国際調査機関は認めた。

特開2002-214591号公報には、「入射光の光パス上に配置されるスペクトル分散エレメントである格子23、24 (分光器) と、光ビーム26の伝搬方向に平行な光軸25に配置されたレンズ22と、レンズ22 (レンズ系) と、図3、図4に記載の配置の図5に記載されたPDL C9によって入射ビームを変調する平面反射SLM11 (液晶光スイッチ) とを備え、2つの異なる波長 $\lambda_i$ および $\lambda_j$ は異なる空間領域の前記平面反射SLM11に到達し変調されるダイナミックスペクトルイコライザ」の発明が記載されており、また、特表平8-510564号公報には、「入力信号を空間的に分離した周波数コンポーネントをセグメント化された変調器が別々にオペレートする、マルチ周波数通信システム用周 (特別ページへ続く)

1. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求の範囲について作成した。
2. ☐ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求の範囲について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求の範囲のみについて作成した。
4. ☒ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求の範囲について作成した。

## 請求の範囲1

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあった。  
☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがなかった。



波数選択光スイッチであって（第5頁－第7頁）、広帯域入力ビーム10を図1の上下方向に分割して複数の周波数分離された入力ビーム14および16にする回折格子12のような入力周波数発散媒体（分光器）と、ビーム14または16を入射する図1の上下方向に配置された液晶セグメント20および22（液晶スイッチ）と、入射レンズ18（レンズ系）とを備え、前記液晶セグメント20および22は、入力ビーム14および16の偏光を90°線形に回転するか、あるいは、入力ビーム14および16の偏光を回転しないかのいずれかを行い通過させる（第8頁－第9頁、図1）マルチ周波数通信システム用周波数選択光スイッチ」の発明が記載されているから、請求の範囲1に記載の発明及び請求の範囲2に記載された各発明は、特開2002-214591号公報又は特表平8-510564号公報に記載された上記発明から自明の発明であり、先行技術に対して貢献するものではない。

したがって、請求の範囲1、請求の範囲2、請求の範囲3、請求の範囲4-8、10、請求の範囲5、請求の範囲9、11に記載の各発明は、これらの発明の間に、一又は二以上の同一の又は対応する、PCT規則13.2第2文の意味における「特別な技術的特徴」を含む技術的な関係がないから、PCT規則13.1に規定する発明の単一性の要件を満たしていない。

以上のことから、この出願の発明の数は、6である。

## Description Based on Article 19(1)

Claim 1 makes it clear that the liquid crystal switch has a polarizing beam splitter to split incoming spectral components into two linearly polarized optical components that are at a right angle and, after that, a reflective type liquid crystal cell controls the split linearly polarized components.

This amendment is based on FIG. 4 and the contents of description in the bottom row on page 17 to the fifth row on page 18.

The apparatus described in cited reference 1 (JP2002-214591A (ALCATEL)) uses a polymer dispersed liquid crystal cell in a spatial light modulator and performs intensity modulation for the spectral components for the wavelengths de-multiplexed by a reflective grating. However, this configuration cannot control the two linearly polarized optical components that are mixed in spectral components and that are at a right angle. The apparatus described in cited reference 2 (JP8-510564A (Bell Communication Research, Incorporated)) has the same problem.

The dynamic gain equalizer according to the present invention has a liquid crystal switch having the configuration described above that controls the two linearly polarized optical components that are mixed in the spectral components obtained through the separation and that are at a right angle.

## CLAIMS

[International bureau accepted on October 6, 2003  
(06.10.30): Original claim 1 is amended; no other  
5 claims are changed]

1. (Amended) A dynamic gain equalizer comprising:
  - a spectroscope that separates an incoming light into spectral components;
  - 10 a liquid crystal optical switch that receives the spectral components separated by said spectroscope; and
  - a lens system arranged between an incoming end and said spectroscope and/or between said  
15 spectroscope and said liquid crystal optical switch,
  - wherein said liquid crystal optical switch comprises a polarizing beam splitter that splits the received spectral components into two linearly  
20 polarized optical components that are at a right angle; and at least one reflective type liquid crystal cell that controls the linearly polarized optical components split by said polarizing beam splitter and thereby changes light intensities of  
25 the received spectral components for each wavelength and sends them out for selectively changing the light intensities of specific wavelengths.

2. The dynamic gain equalizer according to claim  
1, wherein said liquid crystal optical switch has  
a plurality of liquid crystal optical switch  
elements that are linearly arranged along the  
5 optical components separated by said spectroscope.

3. The dynamic gain equalizer according to claim  
2, wherein said liquid crystal optical switch  
elements are arranged in two dimensions in the line  
10 direction and in a direction at a right angle to  
the line direction.

4. The dynamic gain equalizer according to claim  
2 or 3, wherein said liquid crystal optical switch  
15 elements reflect and send out the light, whose light  
intensity is changed, into an incoming direction.

5. The dynamic gain equalizer according to claim  
2 or 3, wherein said liquid crystal optical switch  
20 elements send out the light, whose light intensity  
is changed, into a direction different from an  
incoming direction.

6. The dynamic gain equalizer according to claim  
25 4 or 5,

wherein said liquid crystal optical switch  
elements each have an optical element, which is  
composed of a liquid crystal cell and a light  
reflector, on any two sides that are at a right

angle to a polarizing beam splitter and

a polarization direction of polarization components of said liquid crystal cell is controlled with another side of said polarizing  
5 beam splitter as an incoming end and an outgoing end of the light.

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局(43) 国際公開日  
2003 年 11 月 27 日 (27.11.2003)

PCT

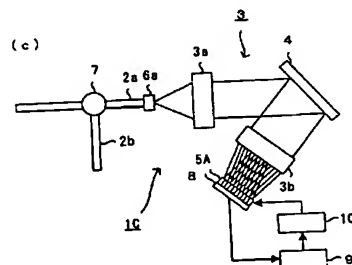
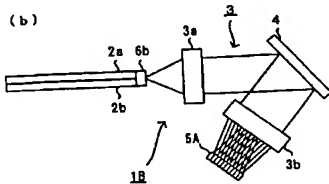
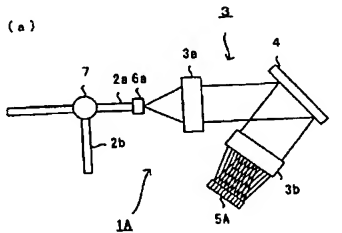
(10) 国際公開番号  
WO 03/098332 A1

- (51) 国際特許分類: G02F 1/13 千 188-8511 東京都 西東京市 田無町 六丁目 1 番 1 2 号 Tokyo (JP).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP03/05864 (72) 発明者; および (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 井出 昌史 (IDE, Masafumi) [JP/JP]; 千 188-8511 東京都 西東京市 田無町 六丁目 1 番 1 2 号 シチズン時計株式会社内 Tokyo (JP).
- (22) 国際出願日: 2003 年 5 月 12 日 (12.05.2003)
- (25) 国際出願の言語: 日本語 (74) 代理人: 塩野入 章夫 (SHIONOIRI, Akio); 千 251-0024 神奈川県 藤沢市 鶴沼橋 1 丁目 1 番 4 号 藤沢セントラルビル 6 階 Kanagawa (JP).
- (26) 国際公開の言語: 日本語 (81) 指定国 (国内): CN, US.
- (30) 優先権データ: 特願 2002-139655 2002 年 5 月 15 日 (15.05.2002) JP 添付公開書類: 国際調査報告書
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): シチズン時計株式会社 (CITIZEN WATCH CO., LTD.) [JP/JP];

[続葉有]

(54) Title: DYNAMIC GAIN EQUALIZER

(54) 発明の名称: ダイナミックゲインイコライザ



(57) Abstract: A dynamic gain equalizer (1) comprising a spectroscope (4) for spectrally separating light incident at an incident end, a liquid crystal optical switch (5) for receiving spectral components separated by the spectroscope (4), and a lens system (3) disposed between the incident end and the spectroscope (4) and/or between the spectroscope (4) and the liquid crystal optical switch (5), wherein the liquid crystal optical switch (5) changes the light intensities of incident spectral components for each wavelength before being output. A specific wavelength is selectively controlled to equalize a light intensity for each wavelength without using a mechanism provided with mechanical moving units such as MEMS.

(57) 要約: ダイナミックゲインイコライザ 1 は、入射端から入射した光を分光する分光器 4 と、分光器 4 で分光された分光成分を入射する液晶光スイッチ 5 と、入射端と分光器 4 との間、及び/又は分光器 4 と液晶光スイッチ 5 との間に配置されるレンズ系 3 とを備えた構成とし、液晶光スイッチ 5 は、入射した分光成分の光強度を波長毎に変更して出射する。MEMS 等の機械的可動部を備える機構を用いることなく、特定波長を選択的に制御し、波長毎に光強度を等価する。

WO 03/098332 A1

WO 03/098332 A1



— 補正書・説明書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される  
各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語  
のガイダンスノート」を参照。

## ダイナミックゲインイコライザ

## 5 技術分野

本発明は、光増幅において利得の波長依存性を補償するゲインイコライザ（利得等器）に関し、特に利得補償を動的に行うことができるダイナミックゲインイコライザに関する。

## 10 背景技術

光通信の分野においては、波長多重伝送（WDM: Wavelength Division Multiplexing）方式が知られている。この波長多重伝送方式では、複数の波長の光を光ファイバで伝送し、受信部において波長毎に分波を行う。そのため、他の波長の光が雑音として作用することになる。特に信号光を増幅する光ファイバ増幅器の利得に波長依存性があると、増幅後の信号光強度に大きなばらつきが生じる。そのため、このばらつきを補償する必要がある。

このような光強度のばらつきを補償するために、光ファイバ増幅器の出力側に光ファイバ増幅器用利得等価器を設けることが知られている。この利得等価器は、増幅後の信号光強度の波長依存性を損失フィルタ装置によって低減し、これによりの波長依存性を平準化している。

従来の損失フィルタ装置では、希土類元素ドープ光ファイバ等の利得媒質によって光を増幅した後に、その増幅光に対するフィルタリングを行う。この損失フィルタ装置のフィルタリン



グ特性は、利得媒質全体の最終的な利得特性に応じて定められる。利得媒質全体のゲイン特性が、例えば図 1 1 ( a ) の曲線 A に示される波長依存性を持つ場合、損失フィルタ装置のフィルタリング特性は図 1 1 ( b ) の曲線 B に示すような波長依存性を持つように設定される。曲線 B は、曲線 A の利得の相対的に高い部分に対し、大きな損失を与えるプロファイルとなるよう設定される。利得媒質によって増幅された光の光強度は、曲線 A に示すような波長依存性を持つことになる。損失フィルタ装置は光強度が相対的に高い部分を部分的に減少するため、図 1 1 ( c ) の曲線 C に示される特性の光が得られる。

このように、従来の損失フィルタ装置のフィルタリング特性は、利得媒質全体が示す利得の波長依存性に基づいており、また、この波長依存性は変化しない静的なものとして定められている。

しかし、光ファイバや利得媒質の波長依存性は経時変化を起こす。そのため、フィルタリング特性が固定された損失フィルタ装置を用いて波長依存性を補償した場合には、時間変化と共に光強度にずれが生じることになる。また、光ネットワークを構成するには、光ファイバによりリング構造やメッシュ構造を形成する必要がある。このような光ネットワークは、光が通過する経路の切り替え等によって経路長が変化する場合がある。このような場合には、光強度にずれが生じることになる。

したがって、光の特定波長を選択的に制御することができる利得等価器が求められている。この利得等価器は、特に高速、大容量、長距離の光ネットワークでは不可欠なものとなる。

このような、波長毎にばらついた光強度を等価する可変アッ

テネータとしてダイナミックゲインイコライザが提案されている。提案されているダイナミックゲインイコライザは、MEMS (micro electro mechanical systems)を利用して、回折効果や反射方向により動的な利得等価を行う。このMEMSにおいて、回折効果を利用する構成では、アレイ状に配置した微小な平面ミラーを駆動して矩形波状の凹凸を形成し、この凹凸構造により回折格子を形成して光強度を動的に制御している。また、反射方向を利用する構成では、アレイ状に配置した微小な平面ミラーの傾きを変えることにより光強度を各波長毎に動的に制御している。

図12は、従来提案されているMEMSを用いたダイナミックゲインイコライザの構成を説明するための概略図である。

ダイナミックゲインイコライザ101は、光ファイバ102から出射した光は、レンズ103を経て回折格子104に入射する。回折格子104で回折された回折光は、レンズ103を経て各波長毎にMEMS105に入射する。MEMS105は、アレイ状に配置した微小な平面ミラーを移動させたり、傾けることにより、反射光の光強度を波長毎に変化させる。MEMS105により波長毎に光強度が変化された反射光は、レンズ103、回折格子104を経て再び光ファイバ102に戻る。MEMS105において、反射光の光強度を光ファイバや利得媒質の波長依存性に依拠して制御することにより、光ファイバ102に戻された光の光強度の波長依存性は平準化される。

MEMSを用いたダイナミックゲインイコライザにおいて、MEMSの微小平面ミラーは制御する波長数と同等の個数が必要であり、また、回折格子及びレンズで回折される分解能と同

4

程度の大きさとする必要がある。そのため、複雑な機構が必要であるという問題がある。また、機械的な可動部があるためステッキングと呼ばれるミラー部分の可動が良好に行われない現象が発生するおそれがある。そのため、良好な制御性や信頼性

5 の点で問題がある。

また、MEMSは、微小平面ミラーで反射する光路以外に光の出口がない。そのため、MEMSによって光強度を制御した残りの光（入射光と出射光の差の光分）は、MEMS内において散乱してノイズ分となったり、熱に変換されて内部温度を上

10 昇させるという問題がある。この散乱光や発熱の問題は、ダイナミックゲインイコライザの小型化や、光信号の大容量化に伴ってより大きな問題となる。

また、ダイナミックゲインイコライザにおいて、光強度の波長依存性を平準化するには、光強度の波長依存性の変化をモニタし、変化があった場合には、その変化を補償するようにダイ

15 ナミックゲインイコライザを制御する必要がある。従来のMEMSを用いたダイナミックゲインイコライザにおいて、光強度の波長依存性の変化をモニタするには、ダイナミックゲインイコライザの装置外部に、ダイナミックゲインイコライザと同様の構成の光スペクトルアナライザを設け、この光スペクトルア

20 ナライザにダイナミックゲインイコライザに入射する光を分岐した光を導いて測定する必要がある。光スペクトルアナライザとして、例えば一例としてMEMSに代えてフォトダイオードアレイを備えた構成がある。

25 この光スペクトルアナライザは、ダイナミックゲインイコライザと同様の構成とすることが出来るものの、ダイナミックゲ

インイコライザと共有することができない。そのため、ダイナミックゲインイコライザと同様な構成が二つ必要となり、装置が大型化する。また、ダイナミックゲインイコライザには光スペクトルアナライザ用に分岐した残りの光が入射されることになる。そのため、ダイナミックゲインイコライザから出射される光の光強度は、光スペクトルアナライザに分岐される分だけ減少するという問題もある。

そこで、本発明は、従来の課題を解決して、MEMS等の機械的可動部を備える機構を用いることなく、特定波長を選択的に制御し、波長毎に光強度を等価することができるダイナミックゲインイコライザを提供することを目的とし、制御性及び信頼性を高めることを目的とする。また、補償によって残余した光による散乱光や発熱の問題を除くことを目的とし、また、光のモニタするために要する別途の光スペクトルアナライザを不要とし、また、光をモニタするための光分岐を不要とすることを目的とする。

#### 発明の開示

本発明のダイナミックゲインイコライザは、光の特定波長を選択的に制御し、光を増幅する利得媒質の利得が波長に依存して変化する場合にその利得の波長依存性を補償するために使用することができる。本発明のダイナミックゲインイコライザでは、波長毎の光強度の変更を液晶光スイッチを用いて行うことにより、アレイ状に配置した微小な平面ミラーを駆動するMEMS等の機械的要素が不要な構成とする。この機械的要素を除くことにより制御性及び信頼性を高めることができる。

また、本発明のダイナミックゲインイコライザでは、液晶光スイッチは光強度の変更によって補償した余りの光を液晶光スイッチの外部に取り出すことができる。これによって、液晶光スイッチ内にとどまる光成分がないため、液晶光スイッチ内における散乱光や発熱の発生を防ぐことができる。

5 また、本発明のダイナミックゲインイコライザでは、液晶光スイッチを用いた補償により余った光を外部に取り出すことができる。この取り出した光を検出することにより、光の光強度をモニタすることができる。一般に、光強度をモニタするために入射光を光分岐すると目的とする光の光強度が減少する。これに対して、本発明によれば、このモニタに用いる光は補償した後に余った光であるため、入射光を光分岐する必要がなく、入射光を光分岐することによる光強度の低下を防ぐことができる。

15 本発明のダイナミックゲインイコライザは、入射端から入射した光を分光する分光器と、分光器で分光された分光成分を入射する液晶光スイッチと、入射端と分光器との間、及び／又は分光器と液晶光スイッチとの間に配置されるレンズ系とを備えた構成とする。液晶光スイッチは、入射した分光成分の光強度を波長毎に変更して出射する。これにより、光の特定波長を選択的に変更する。なお、入射光は光ファイバから入射し、出射光は光ファイバに出射するようにしてもよい。この場合には、ダイナミックゲインイコライザと各光ファイバとの間は、コリメータ等を介して行うことができる。

25 液晶光スイッチは複数の液晶光スイッチ素子により構成することができる。この液晶光スイッチ素子の配置は一次元配置あ

るいは二次元配置とすることができる。

第1の配置態様は一次元配置であり、分光器で分光された光成分に沿ってライン状に配置する。この一次元配置により、分光器で分光された光成分の光強度を各波長毎に変更することができる。

5 できる。

液晶光スイッチ素子の第2の配置態様は二次元配置であり、液晶光スイッチ素子を分光器で分光された光成分に沿うライン方向及びこのライン方向と直交する方向に配置する。この二次元配置では、ライン方向の配置により、分光器で分光された光成分の光強度を各波長毎に変更すると共に、ライン方向と直交する方向の配置により、各波長における光強度をより細かく変更することができる。

本発明に用いる液晶光スイッチ素子は、出射する光の方向により二つの出射の態様とすることができる。

15 第1の出射の態様は再帰反射型であり、光強度を変更した光を入射方向に向けて反射して出射する。再帰反射型の態様は、光強度を変更し補償した光を入射光と同方向に戻すことができる。

第2の出射の態様は通過型であり、光強度を変更した光を入射方向と異なる方向に向けて出射する。通過型の態様は、光強度を変更し補償した光を入射光と異なる方向に出射することができ、入射光との分離が容易となる。

また、本発明のダイナミックゲインイコライザに用いる液晶光スイッチの構成は、種々の態様とすることができる。

25 第1の構成の態様は、偏光ビームスプリッタの直交する二つの側部に、液晶セルと反射板とを組み合わせた光学素子を配置

し、偏光ビームスプリッタの他の一側部を光の入射端及び反射端とする。

第2の構成の態様では、液晶光スイッチ素子は、偏光ビームスプリッタと、少なくとも二つの反射板と、偏光方向を制御する液晶セルとを備え、偏光ビームスプリッタで分離された二つの偏光成分が同一光路を互いに進行方向を異にして偏光ビームスプリッタに再入射されて合成されるように、偏光ビームスプリッタ及び反射板を配置すると共に、光路上に液晶セルを配置する。

第1, 2の構成の態様において、液晶セルにより各偏光成分の偏光方向を制御することで光強度を変更する。液晶セルの各偏光成分の偏光方向の制御は、二つの制御の態様とすることができる。

第1の制御の態様は、液晶セルを、入射直線偏光の方位角を0度回転と90度回転との二つの角度位置、あるいは任意の角度位置で制御する。0度回転と90度回転との二つの角度位置で制御することで、出射する光をオン、オフ制御し、これによって光強度を変更する。

第2の制御の態様は、液晶セルを、入射直線偏光の方位角を任意の角度位置で制御する。任意の角度位置で制御することにより、出射する光の光強度を中間状態で制御し、これによって液晶セルを可変減衰器として使用して光強度を変更する。

また、本発明のダイナミックゲインイコライザは、光強度をモニタする構成を備えることができる。このモニタを備える構成では、液晶光スイッチに光検出素子を設け、これにより光強度を変更して出射する出射光の残余の光の光強度を検出する。

これにより、光検出素子は出射光の光強度と相補の光強度を波長毎に検出する光スペクトルアナライザを構成する。より詳細には、液晶光スイッチ素子に、偏光ビームスプリッタの出射端の一端に光強度を検出するフォトダイオードアレイを設け、このフォトダイオードアレイにより出射光の光強度と相補の光強度を波長毎に検出する光スペクトルアナライザを構成する。

また、本発明のダイナミックゲインイコライザは、光スペクトルアナライザの検出出力に基づいて各液晶光スイッチ素子を制御する。本発明の光スペクトルアナライザが検出する光強度は、各液晶光スイッチ素子が出射する光の光強度と相補的であり、例えば、出射する光の光強度が予め定めた大きさとなるように、光スペクトルアナライザが検出する光強度に基づいて各液晶光スイッチ素子を制御する。

#### 15 図面の簡単な説明

第1図は本発明のダイナミックゲインイコライザの概略構成を説明するための図であり、第2図は液晶光スイッチの構成、及び液晶光スイッチによる光の波長特性の制御を説明するための図であり、第3図はフォトダイオードアレイを備える液晶光スイッチの構成、及び液晶光スイッチによる光の波長特性の制御を説明するための図であり、第4図は本発明に用いる液晶光スイッチ素子の第1の構成の態様を説明するための図であり、第5図は本発明に用いる液晶光スイッチ素子の第2の構成の態様を説明するための図であり、第6図は本発明に用いる液晶光スイッチ素子の第2の構成態様を説明するための図であり、第7図は本発明のダイナミックゲインイコライザの他の概略構成



10

を説明するための図であり、第 8 図は光強度を変更した光を入射方向とは異なる方向に出射する通過型のダイナミックゲインイコライザを説明する図であり、第 9 図は出射光を入射光と異なる方向に導く通過型の液晶光スイッチの構成例を示す図であり、第 10 図は片偏光のみを用いて液晶光スイッチを構成する例を示す図であり、第 11 図は従来の損失フィルタ装置のフィルタリング特性を説明するための図であり、第 12 図は従来提案されている MEMS を用いたダイナミックゲインイコライザの構成を説明するための概略図である。

10

発明を実施するための最良の形態

以下、本発明の実施の形態を図を参照しながら詳細に説明する。

図 1 は、本発明のダイナミックゲインイコライザの概略構成を説明するための図である。図 1 に示す構成例は再帰反射型を示し、光強度を変更した光を入射方向に向けて反射させることにより光を出射する。なお、図 1 (a), (b) は光強度のモニタ機能を備えない構成例であり、図 1 (c) は光強度のモニタ機能を備えてなる構成例である。

図 1 (a) に示す構成例において、本発明のダイナミックゲインイコライザ 1 A は、入射した光を分光する分光器 4 と、分光器 4 で分光された分光成分を入射する液晶光スイッチ 5 A と、入射端と分光器 4 との間、分光器 4 と液晶光スイッチ 5 との間に配置される光学器 3 (レンズ 3 a, 3 b) とを備える。

入射光は、光ファイバ 2 a から入射することができる。光フ

ファイバ 2 a を通った光は、光ファイバ 2 a の端部に接続された  
コリメータ 6 a を介し、レンズ 3 a を通って分光器 4 に導かれ  
る。分光器 4 により各波長に分光された光成分は、レンズ 3 b  
を通して液晶光スイッチ 5 A に導入される。

- 5 再帰反射型の液晶光スイッチ 5 A は、導入された各波長成分  
の光強度を変更し、強度変更した光を反射する。液晶光スイ  
チ 5 A で反射された光は、光路を逆にたどって、レンズ 3 b ,  
分光器 4 , レンズ 3 a , 及びコリメータ 6 a を通り、光ファイ  
バ 2 a に戻される。液晶光スイッチ 5 A は各波長毎に光強度を  
10 変更することで、光ファイバ 2 a に戻す光の光強度を所定の波  
長特性にすることができる。

- 例えば、光を増幅する利得媒質の利得が波長に依存して変化  
するなどによって、光ファイバ 2 a から入射される光が変化し  
たときには、液晶光スイッチ 5 A によりこの利得の波長依存性  
15 を補償するよう入射した光強度を変更した後、出射する。なお、  
光ファイバ 2 a に一芯コリメータ 6 a が接続される場合には、  
ダイナミックゲインイコライザ 1 A からの光をサーキュレータ  
7 で分離し、光ファイバ 2 b に出射する。

- 図 1 ( b ) は、二芯コリメータ 6 b を用いた構成例である。  
20 この構成例では、図 1 ( a ) が備えるサーキュレータ 7 を不要  
とし、図 1 ( a ) の一芯コリメータ 6 a に代えて二芯コリメ  
ータ 6 b を用いる。これにより、光ファイバ 2 a からの入射光は、  
二芯コリメータ 6 b を経てダイナミックゲインイコライザ 1 B  
に入射される。ダイナミックゲインイコライザ 1 B で光強度が  
25 変更された光は、サーキュレータ 7 を介することなく二芯コリ  
メータ 6 b から直接光ファイバ 2 b に出射される。

また、図 1 (c) は光強度のモニタ機能を備え、このモニタした光強度を用いて液晶光スイッチ 5 A を制御する構成例である。なお、図 1 (c) では、図 1 (a) のサーキュレータ 7 及び一芯コリメータ 6 a を用いた構成例に適用した場合を示しているが、図 1 (b) の二芯コリメータ 6 b を用いた構成例に適用することもできる。

図 1 (c) において、液晶光スイッチ 5 A は、フォトダイオードアレイ (PDA) 8 等の光強度検出器を備える。液晶光スイッチ 5 A は、入射光の一部を反射して入射側に戻すと共に、入射光の残りを反射方向と異なる方向に導く。フォトダイオードアレイ 8 は、反射光以外の出射光を取り込み、各波長毎の光強度を検出する。

フォトダイオードアレイ 8 で検出された検出信号はモニタ装置 9 でモニタされる。制御手段 10 はモニタ出力に基づいて液晶光スイッチ 5 A を制御する。なお、モニタ出力は、図示しない表示装置に表示してもよい。また、制御手段 10 を備えず、モニタ出力のみを表示するようにしてもよい。なお、光ファイバ 2 a, 2 b はシングルモードファイバとする。

次に、液晶光スイッチの構成、及び液晶光スイッチによる光の波長特性の制御について図 2 を用いて説明する。なお、液晶光スイッチは、出射光を入射光と同方向に反射する再帰反射型、出射光を入射光と異なる向に導く通過型の何れにも適応することができる。

図 2 (a) は、液晶光スイッチを構成する複数の液晶光スイッチ素子の一次元配置を示している。複数の液晶光スイッチ素子 5-1, 5-2, 5-3, ..., 5-n を、分光器が分光する

分光成分に沿ってライン状に配置し、各波長 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n$ に対応させる。これにより、各液晶光スイッチ素子 $5-1, 5-2, 5-3, \dots, 5-n$ は、それぞれ波長 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n$ の光強度を変更する。

- 5 同じく、図2(b)は、液晶光スイッチを構成する複数の液晶光スイッチ素子の二次元配置を示している。複数の液晶光スイッチ素子 $5-1a, 5-1b, 5-1c, \dots, 5-1m, 5-2a, 5-2b, 5-2c, \dots, 5-2m, 5-na, 5-nb, 5-nc, \dots, 5-nm$ を、分光器が分光する分光成分のライン方向、及びこのライン方向と直交する方向に沿って配置し、  
10 例えば、液晶光スイッチ素子 $5-1a, 5-1b, 5-1c, \dots, 5-1m$ を波長 $\lambda_1$ に対応させ、液晶光スイッチ素子 $5-2a, 5-2b, 5-2c, \dots, 5-2m$ を波長 $\lambda_2$ に対応させる。他の液晶光スイッチ素子についても同様である。
- 15 この二次元配置によれば、各波長において同じ波長に対応する光強度を複数の液晶光スイッチ素子で変更することにより、各波長の光強度をより細かく変更することができる。

図2(c)は、各液晶光スイッチ素子に入射する光の光強度(図中の実線A)と、光強度を変更した後に出射する光の光強度(図中の破線B)の概略例を示している。

- 20 図2(c)の実線Aに示すように、強度特性は利得媒質の利得の波長依存性等により、波長によって利得が変動する。各波長に対応して配置された液晶光スイッチ素子は、波長毎の光強度を減少させ、例えば、図2(c)の破線Bに示すような強度特性を得る。この強度特性は、どの波長に対してもほぼ同じ光強度としている。なお、どのような波長特性とするかは必要に
- 25

応じて定めることができる。

次に、フォトダイオードアレイを備える液晶光スイッチの構成、及びこの液晶光スイッチによる光の波長特性の制御について図3を用いて説明する。なお、ここでは、液晶光スイッチとして、出射光を入射光と同方向に反射する再帰反射型、出射光を入射光と異なる方向に導く通過型の何れに適應することができる。

図3(a)は、液晶光スイッチを構成する複数の液晶光スイッチ素子の一次元配置を示している。この液晶光スイッチは、図2に示した構成と同様の一次元配置の液晶光スイッチにフォトダイオードアレイ8を備える。フォトダイオードアレイ8は液晶光スイッチ素子の一出力端に併設する。

複数の液晶光スイッチ素子5-1, 5-2, 5-3, ..., 5-nを、分光器4が分光するラインに沿って配置し、これらの液晶光スイッチ素子に並べて、フォトダイオードアレイ8-1, 8-2, 8-3, ..., 8-nを併設する。フォトダイオードアレイ8-1, 8-2, 8-3, ..., 8-nは、液晶光スイッチ素子5-1, 5-2, 5-3, ..., 5-nが光強度変更して反射した光の残りの光の光強度を各波長 $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$ , ...,  $\lambda_n$ 毎に検出する。

同様に、図3(b)は、液晶光スイッチを構成する複数の液晶光スイッチ素子及びフォトダイオードアレイの二次元配置を示している。液晶光スイッチは、図2に示した構成と同様の二次元配置の液晶光スイッチにフォトダイオードアレイ8を備える。フォトダイオードアレイ8は液晶光スイッチの一出力端に併設する。

複数の液晶光スイッチ素子  $5-1a$ ,  $5-1b$ ,  $5-1c$ ,  
 $\dots$ ,  $5-1m$ ,  $5-2a$ ,  $5-2b$ ,  $5-2c$ ,  $\dots$ ,  $5-2m$ ,  
 $5-na$ ,  $5-nb$ ,  $5-nc$ ,  $\dots$ ,  $5-nm$  を、分光器 4 が  
 分光するライン、及びこのラインと直交する方向に沿って配置  
 5 し、これらの液晶光スイッチ素子に並べて、フォトダイオード  
 アレイ  $8-1a$ ,  $8-1b$ ,  $8-1c$ ,  $\dots$ ,  $8-1m$ ,  $8-2a$ ,  
 $8-2b$ ,  $8-2c$ ,  $\dots$ ,  $8-2m$ ,  $8-na$ ,  $8-nb$ ,  $8$   
 $-nc$ ,  $\dots$ ,  $8-nm$  を併設する。フォトダイオードアレイ  $8$   
 $-1a$ ,  $8-1b$ ,  $8-1c$ ,  $\dots$ ,  $8-1m$ ,  $\dots$ ,  $8-na$ ,  $8$   
 10  $-nb$ ,  $8-nc$ ,  $\dots$ ,  $8-nm$  は、液晶光スイッチ素子  $5-$   
 $1a$ ,  $5-1b$ ,  $5-1c$ ,  $\dots$ ,  $5-1m$ ,  $\dots$ ,  $5-na$ ,  $5-$   
 $nb$ ,  $5-nc$ ,  $\dots$ ,  $5-nm$  が光強度変更して反射する光に  
 対して残った光の光強度を各波長  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$ ,  $\dots$ ,  $\lambda_n$   
 毎に検出する。

15 例えば、液晶光スイッチ素子  $5-1a$ ,  $5-1b$ ,  $5-1c$ ,  
 $\dots$ ,  $5-1m$  を  $\lambda_1$  に対応させると、フォトダイオードアレイ  
 $8-1a$ ,  $8-1b$ ,  $8-1c$ ,  $\dots$ ,  $8-1m$  は、各液晶光ス  
 イッチ素子  $5-1a$ ,  $5-1b$ ,  $5-1c$ ,  $\dots$ ,  $5-1m$  が波  
 長  $\lambda_1$  の光について光強度変更した残りの光の光強度を検出す  
 20 る。他の液晶光スイッチ素子についても同様である。

この二次元配置によれば、各波長において同じ波長に対応す  
 る光強度を複数のフォトダイオードアレイで検出することによ  
 り、各波長の光強度をより細かく検出し、さらにより細かく変  
 更することができる。

25 図 3 (c) は、図 2 (c) と同様であり、各液晶光スイッチ  
 素子に入射する光の光強度 (図中の実線 A) と、光強度を変更

した後に出射する光の光強度（図中の破線 B）の概略例を示している。

図 3（c）の実線 A に示すように、利得媒質の利得の波長依存性により、利得は波長によって変動する。この利得変動に対して、各波長に対応する液晶光スイッチ素子によって波長毎の光強度を減少させることにより、例えば、図 3（c）の破線 B に示すように、どの波長に対してもほぼ同じ強度特性とすることができ。なお、どのような波長特性とするかは必要に応じて定めることができる。

図 3（d）はフォトダイオードアレイの出力例を示している。フォトダイオードアレイの検出出力は、液晶光スイッチが光強度変更して出射した残りの光の強度であり、図 3（c）中の実線 A と破線 B との差分に相当する。

例えば、図 3（c）の破線 B に示すような波長特性となるように液晶光スイッチによる光強度変更を設定した場合は、利得変動は無くなる。入射光の光強度に変化が無ければ、図 3（d）に示すような特性のフォトダイオードアレイの出力が得られる。逆に、フォトダイオードアレイの出力特性が図 3（d）に示す特性からずれた場合には、入射光の光強度が変化したことを表している。このとき、光の波長特性を設定した特性に合わせるには、フォトダイオードアレイの出力特性が設定時の特性となるように、液晶光スイッチによる光強度の変更を制御する。

次に、本発明の液晶光スイッチに用いる液晶光スイッチ素子について、二つの構成態様を説明する。

第 1 の構成態様は、偏光ビームスプリッタの直交するいずれか二つの側部に、液晶セルと反射板とを組み合わせた光学素子

を配置し、偏光ビームスプリッタの他の一側部を光の入射端及び反射端とする構成である。以下、図4を用いて第1の構成態様について説明する。

図4(a)において、液晶光スイッチ5は、偏光ビームスプリッタ11に対して直交する二つの各側に、液晶セル13と反射板15とを組み合わせた光学素子、及び液晶セル14と反射板16とを組み合わせた光学素子を配置し、偏光ビームスプリッタ11を挟んで液晶セル13と対向する側を入射端及び出射端としてコリメータ17を介して光ファイバ19を接続する。

10 一方、偏光ビームスプリッタ11を挟んで液晶セル14と対向する側は、光強度を変更した残りの光の出射端となる。モニターは、図示しないコリメータを介して光ファイバを接続する他、フォトダイオードアレイを配置して構成することができる。

光ファイバ19側は入射端と出射端とを兼ねているため、サーキュレータ18を接続することによって入射光と出射光を分離する。液晶セル13、14は、電圧の印加によって、入射した光の偏光状態を $\lambda/4$ 波長変化させる。この構成では、反射板と組み合わせることで、入射と出射で合わせて偏光状態が $\lambda/2$ 波長変化することになる。なお、偏光ビームスプリッタ1

20 1は、偏光分離合成膜12を備えている。

この構成の液晶光スイッチでは、スイッチ動作として入射端側に光が出射しない状態(Exchanging state)と、入射端に光が出射する状態(Straight state)の二つの動作をとることができる。

25 図4(b)はExchanging stateを説明するための図である。この動作状態では、液晶セル13及び液晶セル14に電圧を印



加しない。光ファイバ 19 から入射した光は偏光面が直交する二つの偏光成分 p と偏光成分 s から成る。入射光は、コリメータ 17 で平行ビームとなった後、偏光ビームスプリッタ 11 に入り、偏光分離合成膜 12 により直進する偏光成分 p と反射する偏光成分 s に分離される。

液晶セル 13 及び液晶セル 14 に電圧が印加されていない場合には、液晶セル 13 及び液晶セル 14 により偏光状態の変換が行われる。なお、図 4 (b) では、偏光状態の変換が行われる状態を ON で表している。直進する偏光成分 p は、 $\lambda/4$  波長だけ偏光状態が変化して液晶セル 13 を通過した後、反射板 15 で反射し再び液晶セル 13 を通過する。このとき、さらに偏光状態は  $\lambda/4$  波長変化する。これにより、入射した偏光成分 p は偏光成分 s に変換される。変換された偏光成分 s は、偏光分離合成膜 12 で反射され、入射端と異なる端部から出射される。一方、偏光分離合成膜 12 で反射した偏光成分 s は、 $\lambda/4$  波長だけ偏光状態が変化して液晶セル 14 を通過した後、反射板 16 で反射し再び液晶セル 14 を通過する。このとき、さらに偏光状態は  $\lambda/4$  波長変化する。これにより、入射した偏光成分 s は偏光成分 p に変換される。変換された偏光成分 p は、偏光分離合成膜 12 を通過し、入射端と異なる端部から出射される。これによって、入射した光は入射端とは異なる端部から出射することになる。

また、図 4 (c) は Straight state を説明するための図である。この動作状態では、液晶セル 13 及び液晶セル 14 に電圧を印加する。液晶セル 13 及び液晶セル 14 に電圧が印加されている場合には、液晶セル 13 及び液晶セル 14 により偏光状

態の変換が行われない。なお、図 4 (c) では、偏光状態の変換が行われない状態を OFF で表している。

直進する偏光成分 p は、 $\lambda/4$  波長だけそのままの偏光状態で液晶セル 13 を通過した後、反射板 15 で反射し再びそのままの偏光状態で液晶セル 13 を通過する。反射後、液晶セル 13 を通過した偏光成分 p は、偏光分離合成膜 12 を直進し、コリメータ 17 を介して光ファイバ 19 に出射される。一方、偏光分離合成膜 12 で反射した偏光成分 s は、そのままの偏光状態で液晶セル 14 を通過した後、反射板 16 で反射し再びそのままの偏光状態で液晶セル 14 を通過する。反射後、液晶セル 14 を通過した偏光成分 s は、偏光分離合成膜 12 で反射し、コリメータ 17 を介して光ファイバ 19 に出射される。これによって、入射した光は入射端と同じ端部から出射することになる。

なお、上記構成の液晶光スイッチと同様の構成により成る  $2 \times 2$  光切替スイッチの構成、及び  $2 \times 2$  光切替スイッチを用いたアドドロップマルチプレクサの構成は、例えば、Optical Engineering, Vol. 40 No. 8, 1521-1528, August 2001 (Sarun Sumriddetchakajorn, Nabeel A. Riza, Deepak K. Sengupta) に記載されている。

第 2 の構成態様において、液晶光スイッチ素子は、偏光ビームスプリッタと、少なくとも二つの反射板と、偏光方向を制御する液晶セルとを備える。偏光ビームスプリッタ及び反射板を、偏光ビームスプリッタで分離された二つの偏光成分が同一光路を互いに進行方向を異にして偏光ビームスプリッタに再入射され合成されるように配置すると共に、光路上に液晶セルを配置

する。

以下、図 5 を用いて第 2 の構成態様について説明する。

図 5 において、液晶光スイッチ 5 は、偏光分離合成手段 2 1 と、少なくとも二つの反射手段 2 2 と、偏光方向を制御する偏光制御手段 2 3 とを備える。偏光分離合成手段 2 1 は、入射した光に含まれる p 偏光成分と s 偏光成分とに分離し、p 偏光成分についてはそのまま直進させ、s 偏光成分については反射させる。

反射手段 2 2 ( 2 2 A , 2 2 B ) は、偏光分離合成手段 2 1 で分離された二つの偏光成分が同一光路を互いに進行方向を異にして偏光分離合成手段 2 1 に再入射するように配置する。図中に示す T で示される 3 角形は、偏光分離合成手段 2 1 及び反射手段 2 2 , 2 3 によって形成される光路を示し、図中の a で示す方向から入射した光についてみると、偏光分離合成手段 2 1 を直進し、反射手段 2 2 A 及び反射手段 2 2 B の順で反射された後、再び偏光分離合成手段 2 1 に戻る経路 c と、偏光分離合成手段 2 1 で反射し、反射手段 2 2 B 及び反射手段 2 2 A の順で反射された後、再び偏光分離合成手段 2 1 に戻る経路 d とが形成される。二つの経路 c , d は同一の光路となる。なお、図中の b で示す方向から入射した光についてみても、偏光分離合成手段 2 1 , 反射手段 2 2 A , 2 2 B の配置は光学的に対称となるため、同様に二つの経路 c , d は同一の光路となる。

また、この光路上に偏光状態を制御する偏光制御手段 2 3 を配置する。なお、偏光制御手段 2 3 の配置位置は、光路上において種々の態様とすることができる。

この構成により、異なる経路であっても、同一光路長を有し、

光路上において通過する反射手段や偏光制御手段等の光学素子も同一とすることができる。

なお、偏光分離合成手段 2 1 は偏光分離合成膜により形成することができる。また、偏光制御手段 2 3 は液晶セルで形成する  
5 ことができる。

上記第 2 の構成態様に基づく構成例、及びその構成例における動作状態について、図 5 (b), (c) を用いて説明する。

構成例は、偏光分離合成手段 2 1 に対して対称な位置において、二つの反射板 2 2 A, 2 2 B を偏光成分の入射角及び出射角が 2 2 . 5 度となるように配置する。なお、入射角及び出射角は図中において  $\theta$  で示している。この構成例では、 $\lambda / 4$  波長の偏光制御を行う偏光制御手段 2 3 a を、二つの反射板 2 2 a, 2 2 b の内の一方の反射板（図では反射板 2 2 a の例を示しているが、反射板 2 2 b とすることもできる）の光路上の前方位置に配置する。  
10  
15

図 5 (b) は前記した Exchanging state に対応する動作を説明するための図である。この動作状態では、偏光制御手段による偏光変換を行わない。偏光制御手段として液晶セルを用いる場合には、液晶セルに電圧を印加することでこの動作状態とすることができる。図ではこの動作状態を OFF で示している。  
20

入射端（図中の IN）から入射した光は偏光面が直交する二つの偏光成分 p と偏光成分 s から成る。入射光は、図示しないコリメータで平行ビームとなった後、偏光分離合成手段 2 1 により直進する偏光成分 p と反射する偏光成分 s に分離される。

この動作状態では偏光制御手段 2 3 a は偏光変換を行わないため、直進する偏光成分 p は、そのままの偏光状態で偏光制御  
25

手段 2 3 a を通過した後、反射板 2 2 a で反射されて再び偏光制御手段 2 3 a を通過する。このとき、偏光状態は変化せずに偏光成分 p のままである。偏光成分 p は、さらに反射板 2 2 b で反射され、再び偏光分離合成手段 2 1 に達する。このときの  
5 偏光成分 p の進行方向は、入射方向と直交する方向となる。この偏光成分 p は偏光分離合成手段 2 1 を直進し、入射端と異なる端部から出射される。

一方、偏光分離合成手段 2 1 で反射した偏光成分 s は反射板 2 2 b で反射され、そのままの偏光状態で偏光制御手段 2 3 a  
10 を通過した後、反射板 2 2 a で反射されて再び偏光制御手段 2 3 a を通過する。このとき、偏光状態は変化せずに偏光成分 s のままである。偏光成分 s は再び偏光分離合成手段 2 1 に達し反射される。このときの反射方向は、入射方向と直交する方向となり、入射端と異なる端部から出射される。これによって、  
15 入射した光は入射端とは異なる端部から出射することになる。

図 5 (c) は前記した Straight state に対応する動作を説明するための図である。この動作状態では、偏光制御手段による偏光変換を行う。偏光制御手段として液晶セルを用いる場合には、液晶セルに電圧を印加しないことで動作状態とすることができる。図ではこの動作状態を ON で示している。  
20

入射端 (図中の I N) から入射した光は図示しないコリメータで平行ビームとなった後、偏光分離合成手段 2 1 により直進する偏光成分 p と反射する偏光成分 s に分離される。

この動作状態では偏光制御手段 2 3 a は偏光変換を行う。直  
25 進する偏光成分 p は偏光制御手段 2 3 a を通過することで  $\lambda/4$  波長変換された後反射板 2 2 a で反射し、再び偏光制御手段

2 3 a を通過することで  $\lambda / 4$  波長変換されて偏光成分 s に変換される。偏光成分 s は、さらに反射板 2 2 b で反射し、再び偏光分離合成手段 2 1 に達する。このときの偏光成分 s の進行方向は、入射方向と直交する方向となる。この偏光成分 s は偏光分離合成手段 2 1 で反射され、図示しないコリメータを介して入射端と同じ出射端 O U T から出射される。

一方、偏光分離合成手段 2 1 で反射した偏光成分 s は反射板 2 2 b で反射され、次に偏光制御手段 2 3 a を通過することで  $\lambda / 4$  波長変換された後反射板 2 2 a で反射し、再び偏光制御手段 2 3 a を通過することで  $\lambda / 4$  波長変換されて偏光成分 p に変換される。偏光成分 p は再び偏光分離合成手段 2 1 に達し直進する。このときの進行方向は、入射方向と逆方向となり、図示しないコリメータを介して入射端と同じ出射端 O U T から出射される。これによって、入射した光は入射端とは同じ端部から出射することになる。

第 2 の構成態様に基づく構成例は、図 5 に示した構成の他、図 6 に示す構成とすることができる。

図 6 ( a ) に示す構成例は、偏光分離合成手段 2 1 に対して対称な位置において、二つの反射板 2 2 a , 2 2 b を偏光成分の入射角及び出射角が 2 2 . 5 度となるように配置する。なお、入射角及び出射角は図中において  $\theta$  で示している。この構成例では、 $\lambda / 8$  波長の偏光制御を行う偏光制御手段 2 3 b , 2 3 c を二つの反射板 2 2 a , 2 2 b の光路上の前方位置に配置する。

図 6 ( b ) に示す構成例は、偏光分離合成手段に対して対称な位置において、二つの反射板 2 2 a , 2 2 b を偏光成分の入

射角及び出射角を45度に配置し、さらに、1つの反射板22cを二つの反射板22a, 22bを結ぶ光路上であってこれらの反射板22a, 22bに対して垂直方向に配置する。この構成例では、 $\lambda/4$ 波長の偏光制御を行う偏光制御手段23dを  
5 反射板22cの光路上の前方位置に配置する。

図6(c)に示す構成例は、偏光分離合成手段に対して対称な位置において、二つの反射板を偏光成分の入射角及び出射角を45度に配置し、さらに、1つの反射板を二つの反射板を結ぶ光路上であってこれらの反射板に対して垂直方向に配置する。  
10 偏光制御手段の他の配置態様は、 $\lambda/12$ 波長の偏光制御を行う偏光制御手段を、3つの各反射板の光路上の前方位置に配置する。この構成例では、 $\lambda/12$ 波長の偏光制御を行う偏光制御手段23e, 23f, 23gを各反射板22a, 22b, 22cに配置する。

15 図6(d)に示す構成例は、図6(b), (c)の構成例と同様に、3つの反射板を互いに直交に配置する構成であり、偏光分離合成手段21と隣接する何れか一方の反射板をプリズム等の全反射ミラーとし、残りの二つの反射板の光路上の前方位置に $\lambda/8$ 波長の偏光制御を行う偏光制御手段を配置する。この  
20 構成例では、反射板22bをプリズムとし、反射板22a, 22cの光路上の前方位置に $\lambda/8$ 波長の偏光制御を行う偏光制御手段を配置する構成を示している。なお、偏光分離合成手段21は偏光合成分離膜21aを1組のプリズム21b, 21cで挟んで構成している。

25 図6(e)に示す構成例は、偏光分離合成手段21に対して対称な位置において、二つの反射板を偏光成分の入射角及び出

射角を  $22.5$  度に配置し、 $\lambda/2$  波長の偏光制御を行う偏光制御手段を二つの反射板間の光路上に配置する。この構成例では、 $\lambda/2$  波長の偏光制御を行う偏光制御手段  $23h$  を反射板  $22a$ 、 $22b$  の間の光路上に配置する。

- 5 図 6 (f) に示す構成例は、偏光分離合成手段  $21$  に対して対称な位置において、二つの反射板を偏光成分の入射角及び出射角を  $22.5$  度に配置し、 $\lambda/10$  波長の偏光制御を行う偏光制御手段を、二つの反射板の光路上の前方位置、及び二つの反射板間の光路上に配置する。この構成例では、 $\lambda/10$  波長の偏光制御を行う偏光制御手段  $23i$ 、 $23j$  を反射板  $22a$ 、  
10  $22b$  に配置し、 $\lambda/10$  波長の偏光制御を行う偏光制御手段  $23k$  を反射板  $22a$  と反射板  $22b$  との間の光路上に配置する。

- 一般的に、液晶セルを用いる構成では、PDL (偏光依存性  
15 損失: Polarization Dependent Loss) や、PMD (偏光モード分散: Polarization Mode Dispersion) による光損失が問題となる。例えば、PDL は、液晶セルが備える電極の透過に伴う信号強度の低下によるものがある。液晶セルを通過する回数が  
多い構成で各偏光に対する光路がわずかに異なると、この偏光  
20 依存性損失が大きくなる場合がある。また、PMD では、直交する偏光モードによって光パルスの分散の程度が異なるため、光路長が異なればこの光分散による信号劣化が大きくなる。

- このような光損失に対して、本発明のダイナミックイコライザに用いる液晶光スイッチ素子では、偏光成分は同じ光路を  
25 過し、結果的に光路長や光学特性を同一とすることができる。  
そのため、低 PDL 化、低 PMD 化とすることができる。



図 7 は、本発明の液晶光スイッチに用いる偏光制御手段に適  
用することができる液晶セルの構成例である。

ここでは、液晶セルと反射板とを組み合わせた構成について  
説明する。液晶セルと反射板との組み合わせにおいて、光入射  
5 側から見たとき、反射板を液晶セルの外側に配置する構成と、  
反射板を液晶セルの内側に配置する構成がある。図 7 (a) は  
反射板を液晶セルの外側に配置する構成例を示し、図 7 (b)、  
7 (c) は反射板を液晶セルの内側に配置する構成例を示して  
いる。

10 図 7 (a) において、液晶セル 30 は、光入射側から順に、  
ガラス等の基板 31 a、ITO 等の透明電極膜 32 a、配向膜  
33 a、液晶層 34、配向膜 33 b、透明電極膜 32 b、基板  
31 b、外部反射板 35 を配置して構成される。ここで、外部  
反射板 35 は、誘電体多層膜、アルミや金等の高反射性材料か  
15 らなる金属膜とすることができる。

また、図 7 (b) において、液晶セル 30 は、光入射側から  
順に、ガラス等の基板 31 a、ITO 等の透明電極膜 32 a、  
配向膜 33 a、液晶層 34、配向膜 33 b、内在反射板 36、  
導電膜 37、基板 31 b を配置して構成される。ここで、内在  
20 反射板 36 は、導電膜 37 による電場印加を行うために誘電体  
多層膜とする。また、導電膜 37 は ITO による透明電極膜を  
用いることができ、基板 31 b はガラス等の透明な材料に限ら  
ず不透明な材料を用いることもできる。

また、図 7 (c) において、液晶セル 30 は、光入射側から  
25 順に、ガラス等の基板 31 a、ITO 等の透明電極膜 32 a、  
配向膜 33 a、液晶層 34、配向膜 33 b、内在反射板 38、

基板 3 1 b を配置して構成される。ここで、内在反射板 3 8 は、下部電極を兼ねるため金属膜とする。基板 3 1 b はガラス等の透明な材料に限らず不透明な材料を用いることもできる。

5 上記各構成の液晶セルにおいて、配向膜の下部（あるいは電極の上部）に上下の基板の短絡防止用絶縁膜を形成することもできる。また、液晶セルとプリズムとの間に空気層が介在する構成では、液晶セルの表面において不要な反射を防止するために、誘電体多層膜による反射防止膜（A R : Antireflection Coating）を形成することが望ましい。

10 また、液晶素子の配向は、アンチパラレル配向又はパラレル配向とすることができる。また、液晶は強誘電体液晶やツイストネマチック液晶等を使用することができる。

上記液晶セルにおいて、本発明の液晶光スイッチは、入射直線偏光の方位角を 9 0 度回転と、そのままの状態による 0 度回転の二つの状態で制御するスイッチ動作を行うことができる。  
15 また、階調制御を行うことができる液晶を用いることで、中間状態の偏光によって可変光減衰器を構成することもできる。

また、液晶セルのスイッチ動作を利用して光の切替を行う場合には、この液晶セルの応答速度は液晶セルの厚みに依存する。  
20 本発明の液晶光スイッチでは、 $\lambda / 2$  波長の偏光変換を行うために複数の液晶セルを用いる構成とすることで各液晶の厚みを薄くして応答速度を速めることができる。

また、応答速度は 2 乗で反映されるため、例えば、同一の反射型の液晶セルと比較したとき、各液晶セルの厚みを  $1 / 2$  と  
25 することで 4 倍となり、各液晶セルの厚みを  $1 / 3$  とすることで応答速度は 9 倍となる。

次に、光強度を変更した光を入射方向とは異なる方向に出射する通過型のダイナミックゲインイコライザについて、図 8 を用いて説明する。なお、図 8 (a) は光強度のモニタ機能を備えない構成例であり、図 8 (b) は光強度のモニタ機能を備える構成例である。

図 8 (a) に示す構成例において、本発明のダイナミックゲインイコライザ 1 D は、入射した光を分光する分光器 4 と、分光器 4 で分光された分光成分を入射する液晶光スイッチ 5 B と、液晶光スイッチ 5 B で光強度を変更され通過した光の各波長を合波する合波器 2 0 と、入射端と分光器 4 との間、分光器 4 と液晶光スイッチ 5 B との間に配置される光学器 3 (レンズ 3 a, 3 b) とを備える。合波器 2 0 は、分波した後にそれぞれ合波させる機能を有する例えば薄膜フィルタを使った構成、あるいは、レンズ 3 b, 分光器 4, レンズ 3 a, コリメータ 6 a を配置して、分波した光を光ファイバ 2 b に結像させる構成とすることができる。

入射光は、光ファイバ 2 a から入射することができる。光ファイバ 2 a を通った光は、光ファイバ 2 a の端部に接続されたコリメータ 6 a を介し、レンズ 3 a を通って分光器 4 に導かれる。分光器 4 により各波長に分光された光成分は、レンズ 3 b を通して液晶光スイッチ 5 B に導入される。

通過型の液晶光スイッチ 5 B は、導入された各波長成分の光強度を変更し、強度変更した光を通過させる。液晶光スイッチ 5 B を通過した光は、合波器 2 0 により集められ光ファイバ 2 b に導かれる。液晶光スイッチ 5 B は各波長毎に光強度を変更することで、光ファイバ 2 b に導かれた光の光強度を所定の波

長特性にすることができる。例えば、光ファイバ 2 a から入射される光が、光を増幅する利得媒質の利得が波長に依存して変化する場合には、液晶光スイッチ 5 B によりこの利得の波長依存性を補償するよう、入射した光強度を変更し出射する。

- 5 通過型の液晶光スイッチ 5 B によれば、入射端と出射端を異ならせることができるため、光を分離するサーキュレータや二芯コリメータを不要とすることができる。

また、図 8 (b) は光強度のモニタ機能を備え、このモニタした光強度を用いて液晶光スイッチ 5 B を制御する構成例である。

- 図 8 (b) において、液晶光スイッチ 5 B は、フォトダイオードアレイ (PDA) 8 等の光強度検出器を備える。液晶光スイッチ 5 B は、入射光の光強度を変更して入射方向と異なる方向に出射すると共に、さらに、光強度変更した残りの光を入射方向及び出射方向と異なる方向に導く。フォトダイオードアレイ 8 は、出射光以外の光を取り込み各波長毎の光強度を検出する。フォトダイオードアレイ 8 で検出された検出信号はモニタ装置 9 でモニタされ、モニタ出力は制御手段 10 により液晶光スイッチ 5 B を制御する。なお、モニタ出力は、図示しない表示装置に表示してもよく、また、制御手段 10 を備えず、モニタ出力のみを表示することもできようにしてもよい。なお、光ファイバ 2 a, 2 b はシングルモードファイバとする。

- 次に、出射光を入射光と異なる方向に導く通過型の液晶光スイッチの構成について図 9 を用いて説明する。通過型の液晶光スイッチについても、前記した反射型の液晶光スイッチと同様に、一次元配置及び二次元配置とすることができる。以下、一

次元配置を例として説明し、二次元配置については説明を省略する。

図 9 (a) は、液晶光スイッチを構成する複数の液晶光スイッチ素子の一次元配置を示している。複数の液晶光スイッチ素子 5-1, 5-2, 5-3, ..., 5-n を、分光器が分光する  
5 ラインに沿って配置し、各波長  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n$  に対応させる。これにより、各液晶光スイッチ素子 5-1, 5-2, 5-3, ..., 5-n は、それぞれ波長  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n$  の光強度を変更し、光強度変更した光を入射方向と異なる  
10 所定方向に出射する（例えば、図 9 中の P の矢印）。また、残りの光は入射方向及び出射方向と異なる方向に導かれる（例えば、図 9 中の Q の矢印）。なお、図 9 に示す P の方向と Q の方向の位置関係は、説明のために便宜上示したに過ぎず、この位置関係に限られるものではない。また、複数の液晶光スイッチ  
15 素子を二次元配置して液晶光スイッチを構成することもできるが、ここでは説明を省略する。

次に、フォトダイオードアレイを備える通過型の液晶光スイッチの構成について図 9 (b) を用いて説明する。なお、ここでは、複数の液晶光スイッチ素子を一次元配置の例を示している。  
20 この液晶光スイッチは、図 9 (a) に示した構成と同様に一次元配置した各液晶光スイッチにフォトダイオードアレイ 8 を備える。フォトダイオードアレイ 8 は液晶光スイッチ素子の一出力端に併設する。

分光器が分光するラインに沿って、複数の液晶光スイッチ素子 5-1, 5-2, 5-3, ..., 5-n を並べて配置し、この  
25 液晶光スイッチ素子に、フォトダイオードアレイ 8-1, 8-

2, 8-3, ..., 8-n を併設する。液晶光スイッチ素子 5-1, 5-2, 5-3, ..., 5-n は、それぞれ波長  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$ , ...,  $\lambda_n$  の光強度を変更し、光強度変更した光を入射方向と異なる所定方向に出射する（例えば、図 9 中の P の矢印）。残りの光は入射方向及び出射方向と異なる方向に導かれ、フォトダイオードアレイ 8-1, 8-2, 8-3, ..., 8-n は、この残りの光の光強度を各波長  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$ , ...,  $\lambda_n$  毎に検出し、検出信号（例えば、図 9 中の R の矢印）を出力する。

次に、出射光を入射光と異なる方向に導く通過型の液晶光スイッチに用いる液晶光スイッチ素子の構成態様を、図 10 を用いて説明する。

図 10 は、片偏光のみを用いて液晶光スイッチを構成する例である。図 10 に示す液晶光スイッチは、図 6 (d) に示すように、液晶光スイッチ素子 5 が備える偏光分離合成手段 21-1 の一端に偏光分離合成手段 21-2 を配置し、偏光分離合成手段 21-2 の一端を入力端 (IN) とし、偏光分離合成手段 21-1 の他端及び偏光分離合成手段 21-2 の他端を出力端（それぞれ、OUT 2, OUT 1）とする。この構成によれば、例えば入力端 IN から入力した場合には、液晶光スイッチ 5 による偏光変換を行わない状態では出力端 OUT 1 から出力し、液晶光スイッチ 5 による偏光変換を行う状態では出力端 OUT 2 から出力する。この出力端 OUT 1 又は出力端 OUT 2 の何れか一方を出射端とし、他方をモニタ用の端部とする。

本発明のダイナミックイコライザは、例えば、長距離伝送用の 1.55  $\mu\text{m}$  帯やメトロエリアなどに用いられる EDFA (エリビウム添加ファイバ増幅器) の利得媒質の利得が波長に依存

して変化する場合の利得の波長依存性の補償に適用することができる。

また、本発明は、光強度の変更にMEMS等の機械的要素に代えて液晶光スイッチを用いることにより、部品点数や調整箇所を削減することができ、コストを下げることができる。

5       また、本発明のダイナミックイコライザに用いる液晶光スイッチ素子において、偏光ビームスプリッタで分離された二つの偏光成分が同一光路を通ることにより、低PDL化、低PMD化することができる。

10       また、本発明のダイナミックイコライザに用いる液晶光スイッチによれば、フォトダイオードアレイを出力の片側に設けることにより、光スペクトルアナライザ機能を備えることができる。

15       以上の説明から明らかなように、本発明のダイナミックイコライザは、MEMS等の機械的可動部を備える機構を用いることなく、特定波長を選択的に制御し、波長毎に光強度を等価することができる。機械的可動部を備えていないため、制御性及び信頼性を高めることができる。

20       また、本発明のダイナミックゲインイコライザは、補償によって残余した光は、外部に取り出すことができるため、散乱光や発熱の問題を除くことができる。

25       また、本発明のダイナミックゲインイコライザは、補償によって残余した光をモニタするため、光をモニタするために別途に光スペクトルアナライザを設ける必要がない。また、光をモニタするための光分岐を不要であるため、光分岐による光強度の減少を防ぐことができる。

産業上の利用可能性

本発明のダイナミックゲインイコライザは、波長多重伝送において、光ファイバや利得媒質の波長依存性の経時変化による

5 光強度のずれを補償する利得等価器に有用である。

10

15

20

25

3



## 請 求 の 範 囲

1. 入射した光を分光する分光器と、  
前記分光器で分光された分光成分を入射する液晶光スイッチと、  
入射端と前記分光器との間、及び／又は前記分光器と前記液晶  
5 光スイッチとの間に配置されるレンズ系とを備え、  
前記液晶光スイッチは、前記入射した分光成分の光強度を波長  
毎に変更して出射することにより光の特定波長を選択的に変更  
することを特徴とする、ダイナミックゲインイコライザ。
2. 前記液晶光スイッチは、複数の液晶光スイッチ素子を備え、  
10 当該液晶光スイッチ素子は、前記分光器で分光された光成分に  
沿ってライン状に配置することを特徴とする、特許請求の範囲  
第1項記載のダイナミックゲインイコライザ。
3. 前記液晶光スイッチ素子は、前記ライン方向及び前記ライ  
ン方向と直交する方向の二次元に配置することを特徴とする、  
15 特許請求の範囲第2項記載のダイナミックゲインイコライザ。
4. 前記液晶光スイッチ素子は、光強度を変更した光を入射方  
向に向けて反射して出射することを特徴とする、特許請求の範  
囲第2項又は第3項記載のダイナミックゲインイコライザ。
5. 前記液晶光スイッチ素子は、光強度を変更した光を入射方  
20 向と異なる方向に向けて出射することを特徴とする、特許請求  
の範囲第2項又は第3項記載のダイナミックゲインイコライザ。
6. 前記液晶光スイッチ素子は、偏光ビームスプリッタの直交  
する何れか二つの側部に、液晶セルと反射板とを組み合わせた  
光学素子を配置し、  
25 前記偏光ビームスプリッタの他の一側部を光の入射端及び反射  
端とし、当該液晶セルにより各偏光成分の偏光方向を制御する

ことを特徴とする、特許請求の範囲第4項又は第5項記載のダイナミックゲインイコライザ。

7. 前記液晶光スイッチ素子は、偏光ビームスプリッタと、少なくとも二つの反射板と、偏光方向を制御する液晶セルとを備え、

偏光ビームスプリッタで分離された二つの偏光成分が同一光路を互いに進行方向を異にして偏光ビームスプリッタに再入射され合成されるように、前記偏光ビームスプリッタ及び反射板を配置すると共に、当該光路上に前記液晶セルを配置し、当該液晶セルにより各偏光成分の偏光方向を制御することを特徴とする、特許請求の範囲第4項又は第5項記載のダイナミックゲインイコライザ。

8. 前記液晶セルは入射直線偏光の方位角を0度回転と90度回転との二つの角度位置、又は任意の角度位置に制御することを特徴とする、特許請求の範囲第6項又は第7項記載のダイナミックゲインイコライザ。

9. 前記液晶光スイッチは、前記光強度を変更して出射する出射光の残余の光の光強度を検出する光検出素子を備え、当該光検出素子は前記出射光の光強度と相補の光強度を波長毎に検出する光スペクトルアナライザを構成することを特徴とする、特許請求の範囲第1項乃至第3項の何れか一つに記載のダイナミックゲインイコライザ。

10. 前記液晶光スイッチ素子は、偏光ビームスプリッタの出射端の一端に光強度を検出するフォトダイオードアレイを備え、当該フォトダイオードアレイは前記出射光の光強度と相補の光強度を波長毎に検出する光スペクトルアナライザを構成するこ

36

とを特徴とする、特許請求の範囲第 6 項乃至第 8 項の何れか一つに記載のダイナミックゲインイコライザ。

1 1 . 前記光スペクトルアナライザの検出出力に基づいて前記各液晶光スイッチ素子を制御することを特徴とする、特許請求  
5 の範囲第 9 項又は第 1 0 項記載のダイナミックゲインイコライザ。

10

15

20

25

## 請 求 の 範 囲

[2003年10月6日(06.10.03)国際事務局受理：出願当初の請求の範囲1は補正された；他の請求の範囲は変更なし。]

1. (補正後) 入射した光を分光する分光器と、  
前記分光器で分光された分光成分を入射する液晶光スイッチと、  
5 入射端と前記分光器との間、及び／又は前記分光器と前記液晶  
光スイッチとの間に配置されるレンズ系とを備え、  
前記液晶光スイッチは、前記入射した分光成分を直交する2つ  
の直線偏光成分に分離するための偏光ビームスプリッタと、前  
記偏光ビームスプリッタにより分離された前記各直線偏光成分  
10 を制御する少なくとも一つの反射型の液晶セルを有し、これに  
より、前記入射した分光成分の光強度を波長毎に変更して出射  
することにより光の特定波長を選択的に変更することを特徴と  
する、ダイナミックゲインイコライザ。
2. 前記液晶光スイッチは、複数の液晶光スイッチ素子を備え、  
15 当該液晶光スイッチ素子は、前記分光器で分光された光成分に  
沿ってライン状に配置することを特徴とする、特許請求の範囲  
第1項記載のダイナミックゲインイコライザ。
3. 前記液晶光スイッチ素子は、前記ライン方向及び前記ライ  
ン方向と直交する方向の二次元に配置することを特徴とする、  
20 特許請求の範囲第2項記載のダイナミックゲインイコライザ。
4. 前記液晶光スイッチ素子は、光強度を変更した光を入射方  
向に向けて反射して出射することを特徴とする、特許請求の範  
囲第2項又は第3項記載のダイナミックゲインイコライザ。
5. 前記液晶光スイッチ素子は、光強度を変更した光を入射方  
25 向と異なる方向に向けて出射することを特徴とする、特許請求  
の範囲第2項又は第3項記載のダイナミックゲインイコライザ。

補正された用紙 (条約第19条)

6. 前記液晶光スイッチ素子は、偏光ビームスプリッタの直交する何れか二つの側部に、液晶セルと反射板とを組み合わせた光学素子を配置し、

前記偏光ビームスプリッタの他の一側部を光の入射端及び反射  
5 端とし、当該液晶セルにより各偏光成分の偏光方向を制御する

## 条約第 19 条 (1) に基づく説明書

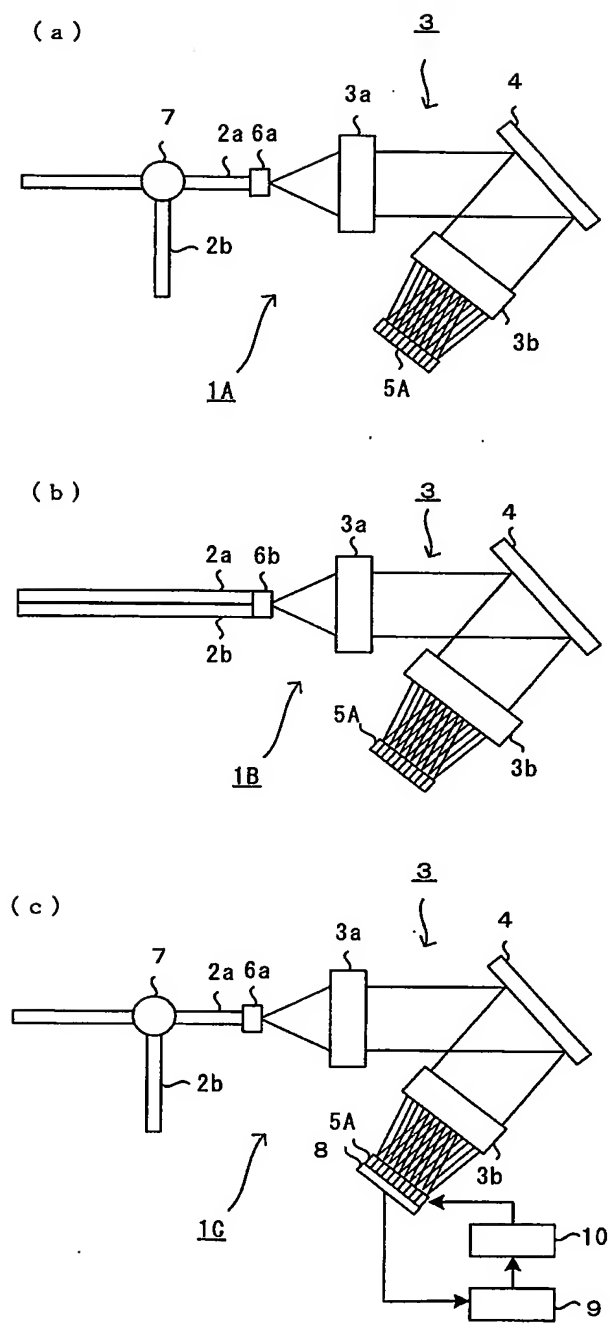
請求の範囲第 1 項は、液晶スイッチにおいて、偏光ビームスプリッタにより、入射した分光成分を直交する 2 つの直線偏光成分に分離した後、反射型の液晶セルにより、分離した各直線偏光成分を制御することを明確にした。

なお、この補正は、Fig. 4 及び第 17 頁最終行～第 18 頁第 5 行の記載内容に基づくものである。

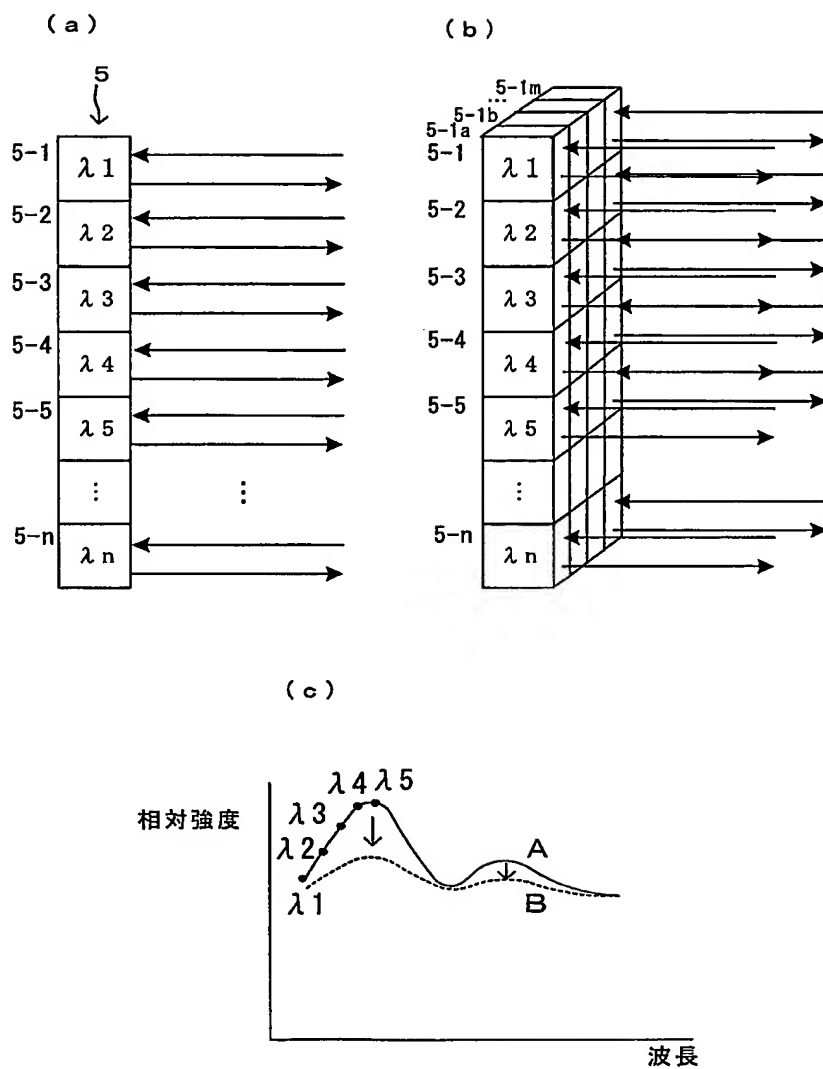
引用文献 1 (JP 2002-214591 A (アルカテル)) は、高分子分散型の液晶セルを空間光変調器に用い、これにより反射格子によって分波された各波長に対する分光成分の強度変調を行っているが、この構成では、分光成分に混在する直交する 2 つの直線偏光成分を制御することはできない。この点は、引用文献 2 (JP 8-510564 A (ベル コミュニケーションズ リサーチ, インコーポレイテッド)) においても同様である。

本発明は、上記構成の液晶スイッチを備えることにより、分離して得られた分光成分に混在する直交する 2 つの直線偏光成分を制御するという効果を得ることができる。

1 / 12



2 / 1 2





3 / 1 2

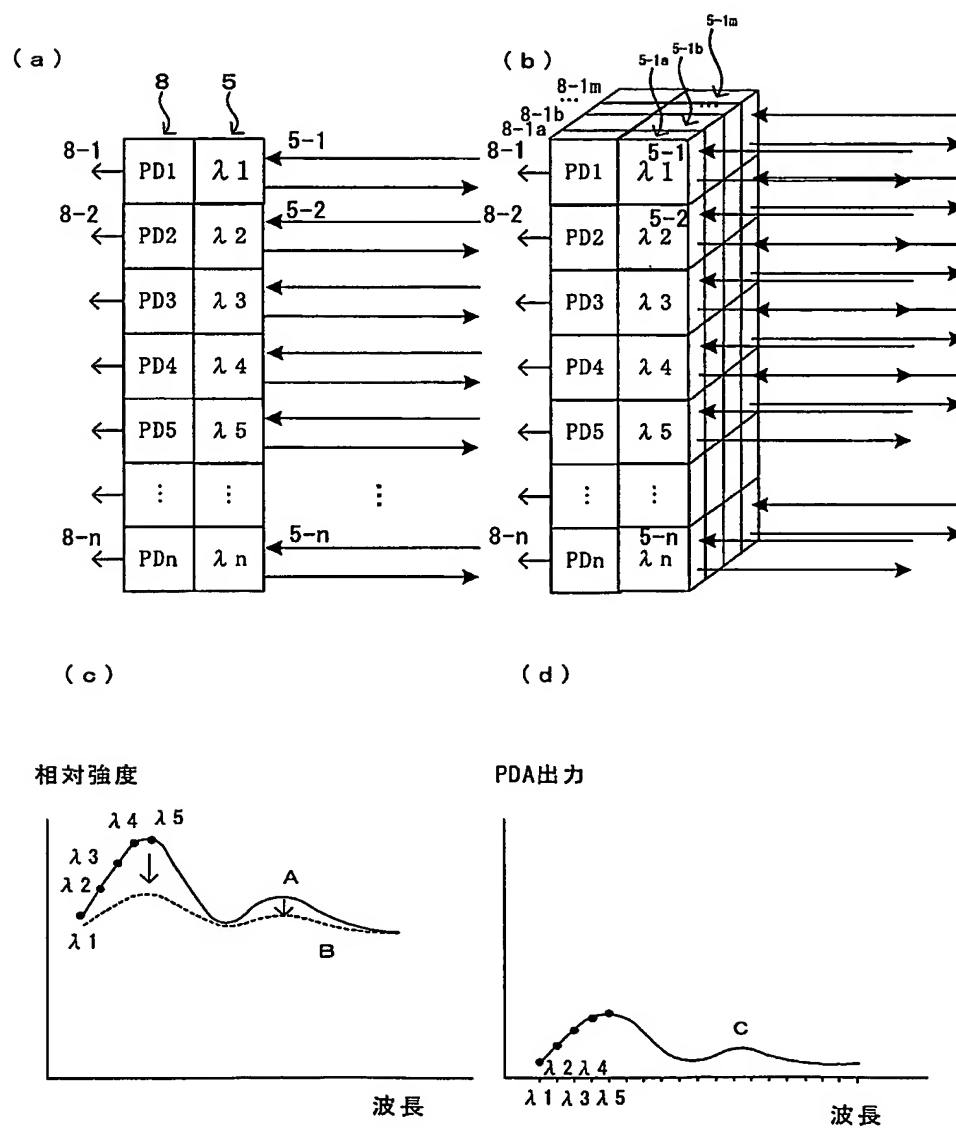


FIG. 3

4 / 1 2

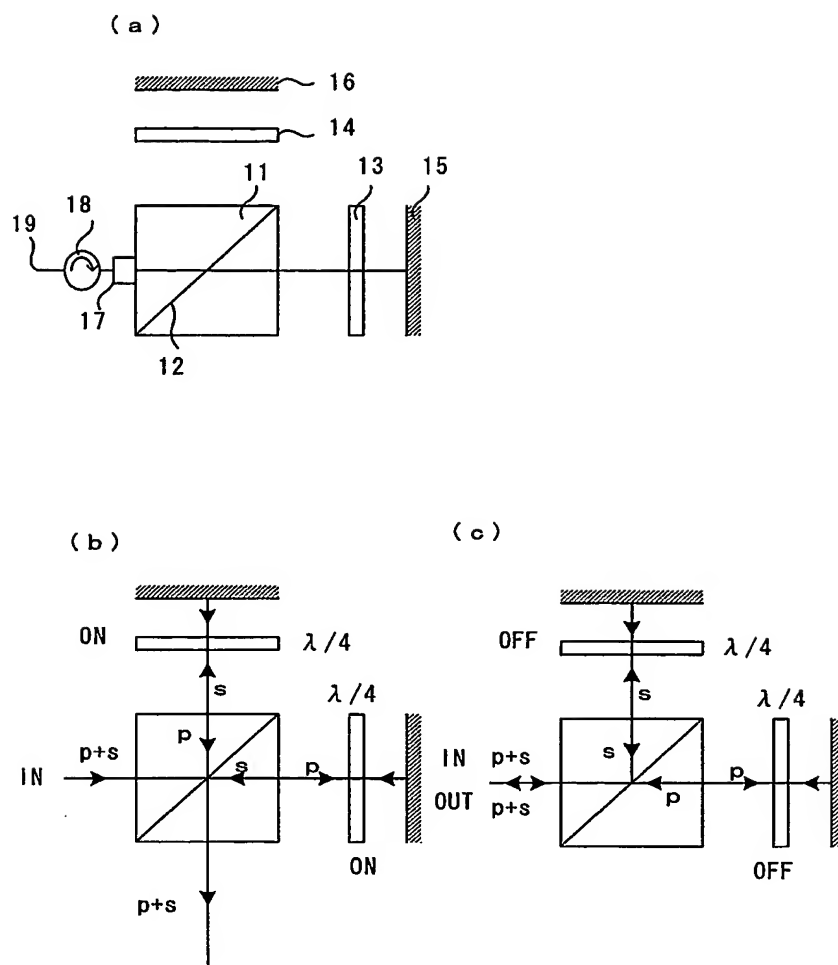


FIG. 4

5 / 12

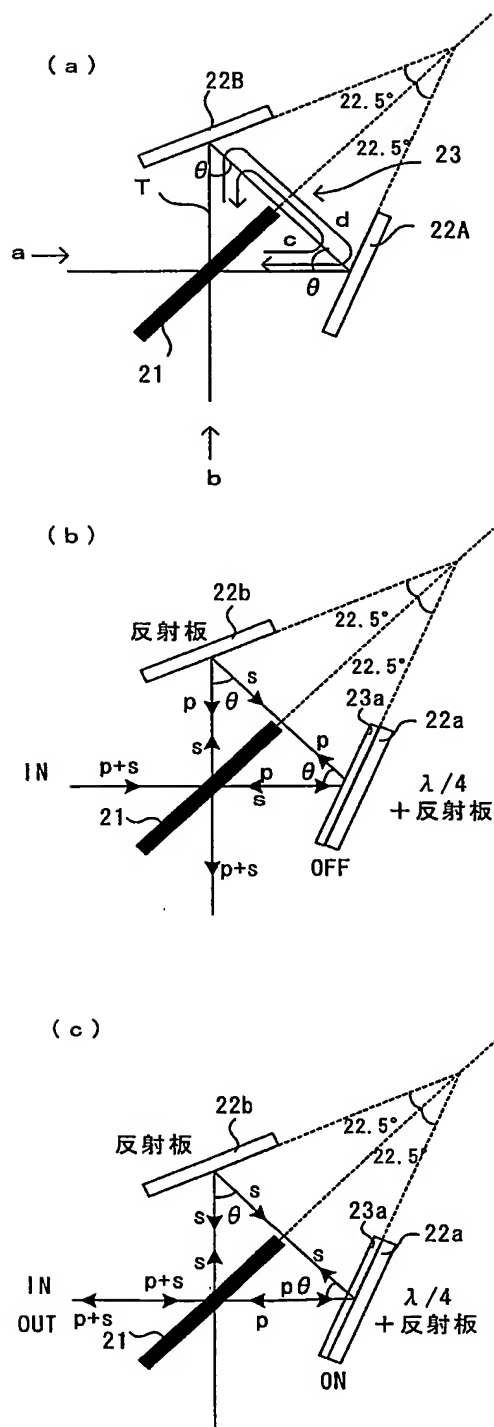


FIG. 5

6 / 1 2

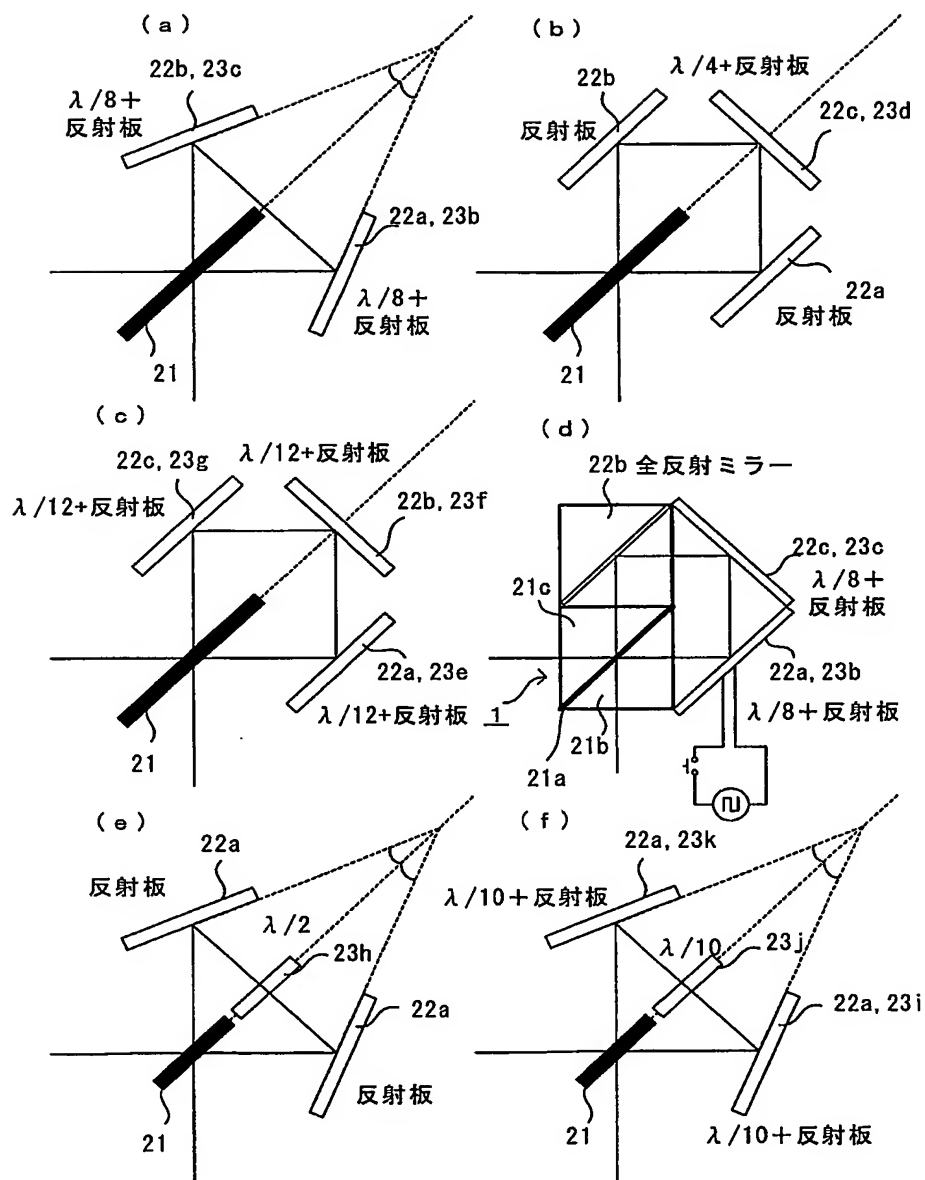


FIG. 6

6 / 1 2

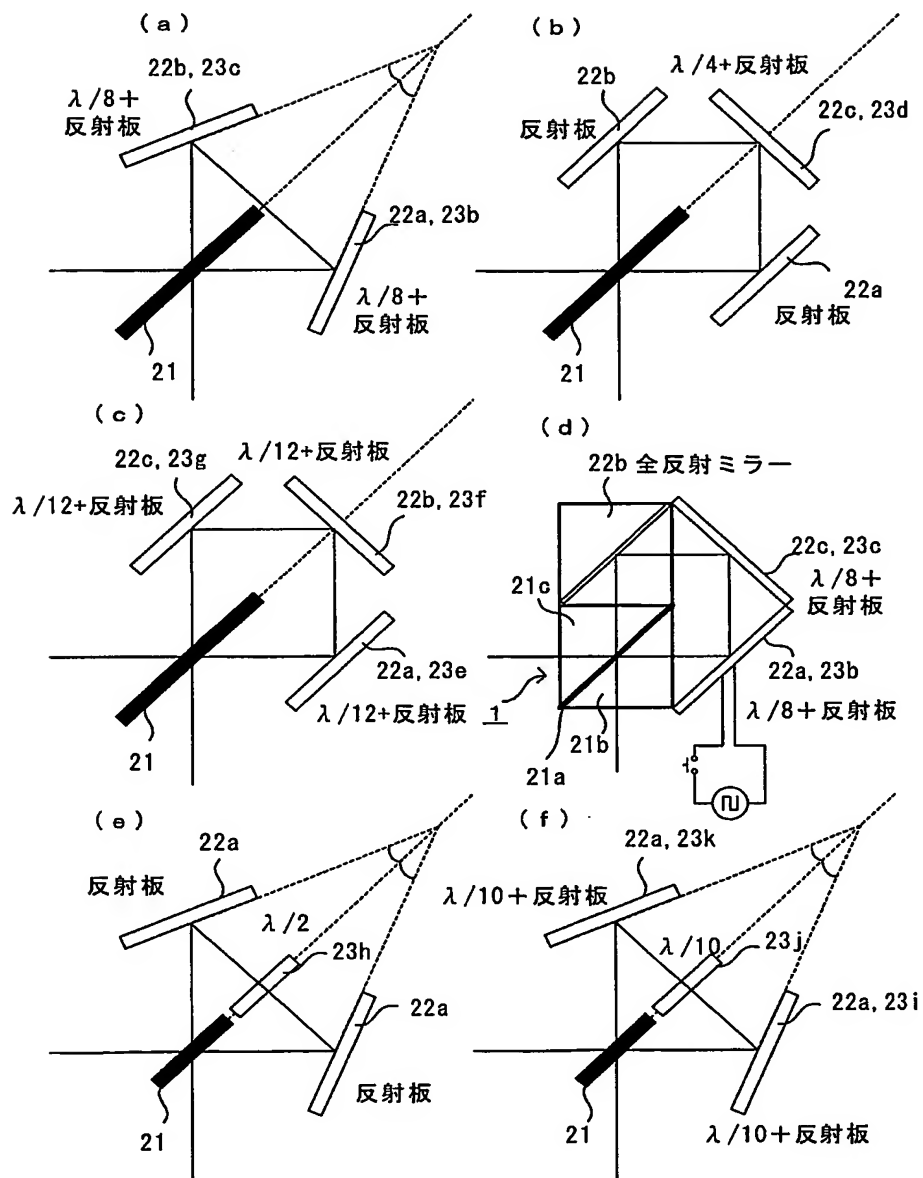
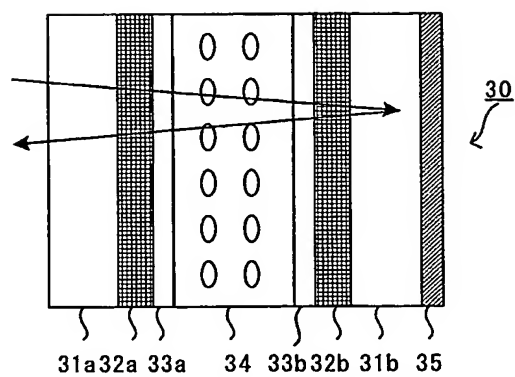


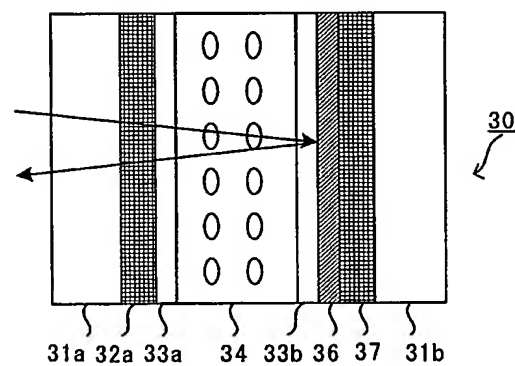
FIG. 6

7 / 12

(a)



(b)



(c)

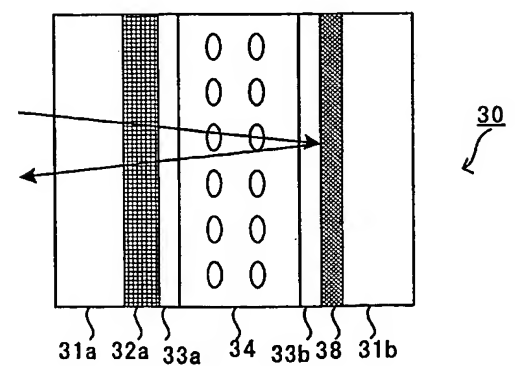


FIG. 7

8 / 12

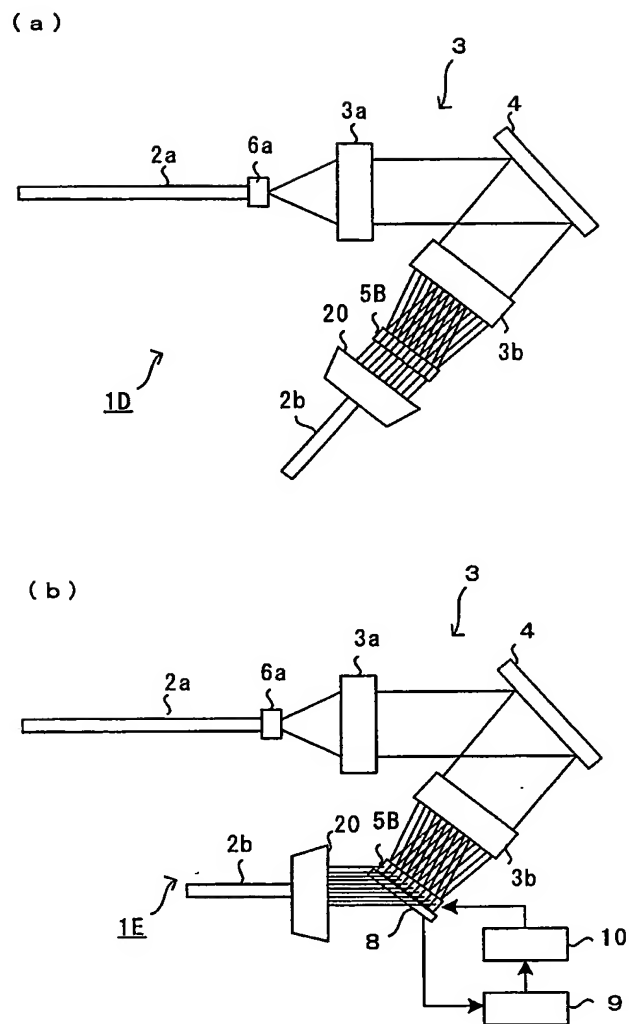
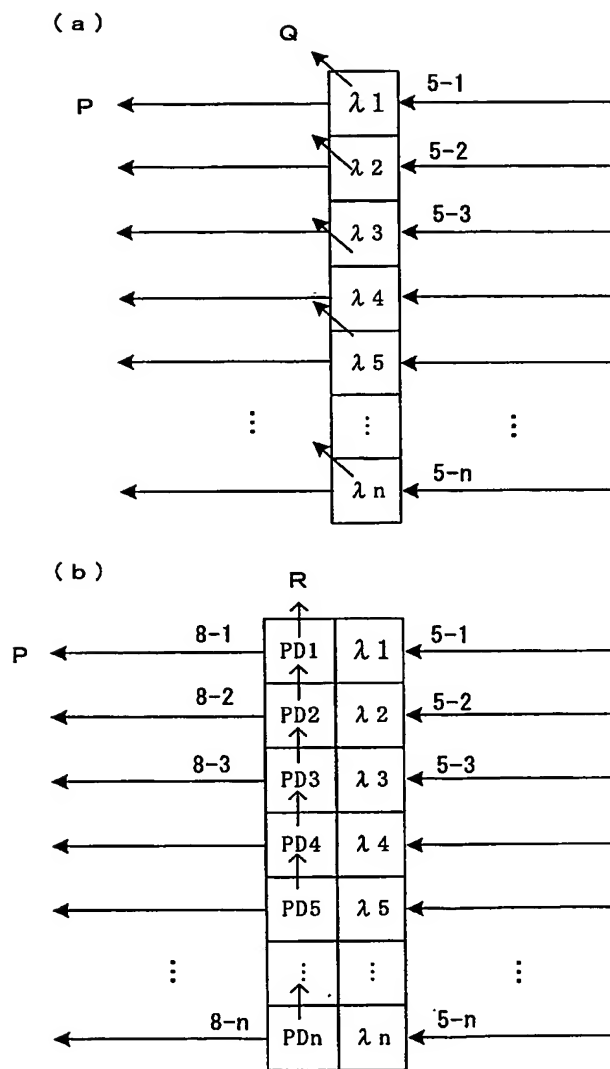


FIG. 8

9 / 12





10/12

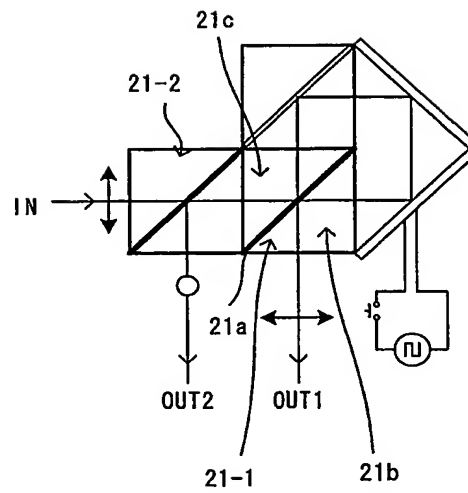


FIG. 10

11/12

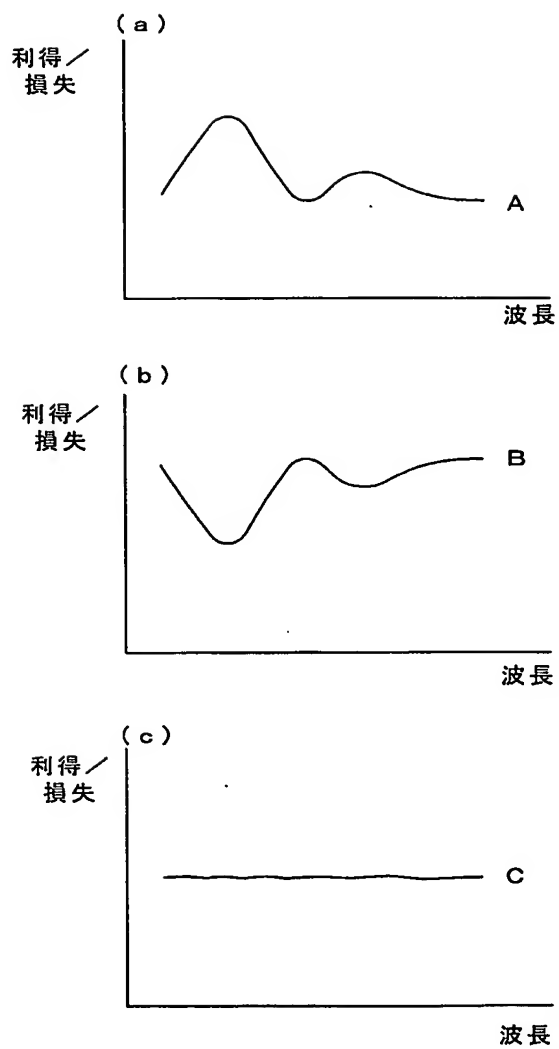


FIG. 11

12 / 12

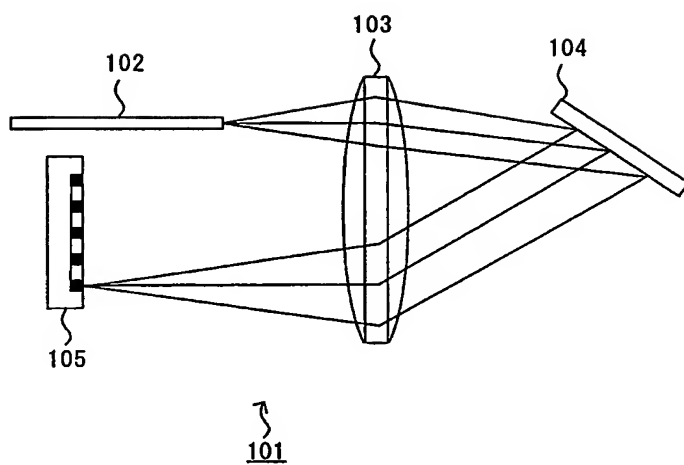


FIG. 12

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.  
PCT/JP03/05864

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER Int.Cl<sup>7</sup> G02F1/13

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
Int.Cl<sup>7</sup> G02F1/13

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched  
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2003  
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2003 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2003

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P, X	JP 2002-214591 A (Alcatel), 31 July, 2002 (31.07.02), Full text; all drawings & EP 1207418 A1 & US 4193691 A & US 2002/0080466 A1	1
X	JP 8-510564 A (Bell Communications Research, Inc.), 05 November, 1996 (05.11.96), Full text; all drawings & WO 94/28456 A1 & US 5414541 A & US 5414540 A	1

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	"I" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family
---	--

Date of the actual completion of the international search 30 July, 2003 (30.07.03) Date of mailing of the international search report 12 August, 2003 (12.08.03)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/05864

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 8-5976 A (Nippon Telegraph And Telephone Corp.), 12 January, 1996 (12.01.96), Full text; all drawings (Family: none)	1
X	JP 8-5977 A (Nippon Telegraph And Telephone Corp.), 12 January, 1996 (12.01.96), Full text; all drawings (Family: none)	1
X	JP 9-33878 A (Nippon Telegraph And Telephone Corp.), 07 February, 1997 (07.02.97), Full text; all drawings (Family: none)	1
A	JP 2001-188023 A (Yokogawa Electric Corp.), 10 July, 2001 (10.07.01), Full text; all drawings (Family: none)	1

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/05864

## Box I Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:  
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
2. ☐ Claims Nos.:  
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
3. ☐ Claims Nos.:  
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

## Box II Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

An invention that "a dynamic spectrum equalizer comprising a lattice (23, 24) (spectroscope) being a spectrum dispersion element disposed on the light path of an incident light, a lens (22) disposed on a light axis (25) parallel to the propagation direction of a light beam (26), and a plane reflector (SLM11) (liquid crystal light switch) for modulating an incident light beam by means of the lens (22) (lens system) and PDLC (9) disposed as described in Figs. 3 & 4 and described in Fig. 5, wherein two different wavelengths  $\lambda_i$  and  $\lambda_j$  reach the above plane reflector (SLM11) in different spatial areas to be modulated" is described in Patent Laid-Open No. 2002-214591, (continued to extra sheet)

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
4. ☒ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.: 1

Remark on Protest ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.  
☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/05864

Continuation of Box No.II of continuation of first sheet(1)

and an invention that " a multi-frequency communication system-use frequency selection optical switch which allows a segmented modulator to separately operate frequency components obtained by spatially separating an input signal (page 5-page 7), and which comprises an input frequency diverging medium (spectroscope) such as a diffraction lattice (12) for splitting a wide-band input beam (10) in a vertical direction in Fig. 1 to form a plurality of frequency-separated input beams (14, 16), liquid crystal segments (20, 22) disposed in a vertical direction in Fig. 1, for receiving a beam (14 or 16), and an incident lens (18) (lens system), wherein the above liquid crystal segments (20, 22) linearly rotate the polarization of input beams (14, 16) by 90 ° or do not rotate the input beams (14, 16) before passing them (page 8-page 9, Fig.1)" is described in Patent Publication No. Hei 8-510564, therefore, the invention in claim 1 and the invention in claim 2 are respectively obvious ones as seen from the inventions in Patent-Laid Open No. 2002-214591 and Patent Publication No. Hei 8-510564 and do not contribute to the prior art.

There is no technical relationship, among respective inventions in claim 1, claim 2, claim 3, claims 4-8, 10, claim 5, claims 9, 11, involving one or more of the same or corresponding "special technical features" within the meaning of PCT Rule 13.2, second sentence, therefore they do not fulfill the requirement of unity of invention.

Accordingly, the number of inventions in this application is six.

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**